الفصـل الأول
الطاقـةالنـوويـة

(1-1) المقدمة:

أن الطاقة تعد هي المصدر الرئيسي في بناء الإنسان والمجتمعات الإنسانية, فكما زاد استهلاكها للطاقة ازدادت رفاهية هذه الشعوب, وتتعدد الطاقة في مصادرها منها, الطاقة الشمسية, والطاقة الرياح, وطاقة مساقط المياه, والطاقة النووية رغم الإلتزام بالمعايير والأمان في محطات القدرة النووية فالمشكلة التي تعانيها الشعوب هي التأثيرات البيئية، بسبب انبعاث الغازات، فهي مقبلة على حل لمشكلة الطاقة الكهربائية التي تتسم بالأنظف بيئياً، وبالتالي أوفر اقتصاديا، إن العالم اليوم يعاني من أزمات كثيرة وخطيرة خاصة الشعوب النامية أو ما يطلق عليه العالم الثالث الذي استبيح سياسياً واقتصادياً وأصبح

يعاني من الفقر والجوع والأمية بسبب الاحتلالات العسكرية وأن هذه الشعوب هي التي تمتلك الثروات من الطاقة وعلى رأسها اليورانيوم لكن هذه الثروات تسرق وتوجه إلى صدور هذه الشعوب على شكل رصاص قاتل، إن العالم ومع العقود الأولى من القرن الواحد والعشرون سينتج نووياً طاقة كهربية تكافئ ما يقارب 25% من مجمل تلك الطاقة الكهربائية التي تنتج عالمياً.

في حين أن دولاً مثل فرنسا تنتج طاقة نووية ما يجاوز 80%. من مجمل طاقتها الكهربائية.

اما الدول العربية فهي لا تمتلك الفحم ولكنها تملك البترول وهذا يساعدها من الناحية الاقتصادية لأنه الأنسب والأجدى إذا ما استخدم بشكل صحيح في صناعة البتروكيماويات والمحروقات لخدمة المواصلات، أما ما يتعلق بالتطبيقات الشمولية لمصادر الطاقة وتعميمها على المؤسسات العملاقة والمعامل والمصانع والمستشفيات اوالمشاريع التنموية فهي تحتاج إلى تقنيات عالية في الطاقة وهو المصدر الوحيد للطاقة الانشطارية النووية الذي يجب أن يتركز عربياً ودولياً ويتبني من قبل حكومات الدول العربية والعالم الثالث النامي إضافة إلى مصادر الطاقة الأخرى.

(2-1) الطاقة النووية الانشطارية:

في العام 1938 كان العالم الألماني أوتوهان يواصل بحوثه في تخليق العناصر التي تلي اليورانيوم في الترتيب وحصل على البلوتونيوم 239 وعند قذف هذا العنصر الجديد بنيوترونات بطيئة فوجئ أوتوهان بما لم يكن في الحسبان من عجائب هذا الزمان فقد أنشطر البلوتونيوم أو إنقلق إلى عنصرين هما الكريبتون والباريوم وخرجت دقائق الفا ونيوترونات جديدة في تفاعل انشطاري نووي متسلسل تقوم فيه النيوترونات الجديدة بمهاجمة ذرات بلوتونيوم أخرى تؤدي إلى إنقلاقها مصحوباً بنقص في كتلة نواتج هذا التفاعل وهذا النقص يظهر على هيئة طاقة هائلة تدعى الطاقة النووية والتي تظهر على حساب النقص في الكتلة طبقاً لقانون إنشتاين ويكتب هذا التفاعل كما يلي:

بلوتونيوم + نيوترون ⟵ ككريبتون + باريوم + دقيقة الفا + ثلاثة نيوترونات + طاقة

$$pu_{94}^{239} + N_0^1 \rightarrow Kr_{36}^{84} + Ba_{56}^{137} + He_2^4 + 3N_0^1 + Q$$

والطاقةَ (Q) يمكن حسابها من هذا التفاعل حيث نلاحظ أن مجموع الكتل الداخلية في التفاعل 240 بينما مجموع الكتل الخارجة من التفاعل 228 وحدة كتلة ذرية أي أن

النقص الحادث في الكتلة يعادل $\frac{12}{240} \times 100$ أي 5% فلو كان لدينا قنبلة ذرية وزنها 20كيلو جراماً فإن النقص بعد تفجيرها يعادل 1كيلو جراماً وهذا يعادل طاقة قدرها:

$$Q = mc^2$$

في معادلة إنشائية كما يلي:

الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء

$= 1 \times (3 \times 10^8)^2 = 9 \times 10^{16}$ جول

وهذه الطاقة تعادل تلك التي تتولد عند تفجير عشرين طن ديناميت

(3-1) التقنية النووية كمصدر للطاقة:

طورت صناعة المفاعلات النووية بعد الحرب العالمية الثانية بصورة رئيسية لغرض توفير البلوتونيوم لصناعة الأسلحة النووية، لقد وجدت الدول النووية نفسها حينئذ تمتلك تكنولوجيا صناعة المفاعلات التي كلفت استثمارات هائلة لكن حاجتها العسكرية لها محدودة.

كانت ضغوط الشركات صانعة المفاعلات شديدة لغرض الاتجاه للقطاع التجاري لما كان متوقع منه من إمكانيات ورغم عدم تواجد حلول ناجحة في حينه لمشكلة التخلص من النفايات المشعة انطلقت صناعة المفاعلات النووية بإتجاه صنع مفاعلات القدرة.

كان أنضج المفاعلات من الناحية التكنولوجية لإنتاج الطاقة هو مفاعل الماء المضغوط الذي طور لغرض استخدامه في السفن والغواصات لذلك كان البرنامج الأمريكي للطاقة مبنياً بالدرجة الأولى على هذا النوع، إلا أن دولة أخرى مثل بريطانيا طورت أنواع أخرى من المفاعلات وبالرغم من جو التفاؤل الذي ساد حينئذ حول توفير الطاقة بسهولة ورخص نسبي إلا أن المشاكل العلمية التي صاحبت تطور هذه الصناعة حددت إلى درجة كبيرة من إنطلاقتها، يمكن القول حالياً بأن صناعة المفاعلات النووية تمر في حالة شبه توفق وإن المرحلة الأولى لهذه الصناعة اعتمدت على نماذج من مفاعلات بسيطة تستخدم بالدرجة الأولى اليورانيوم المخصب قد انتهت واقتربت من الإنتهاء وأن صناعة المفاعلات حالياً في كساد شبه تام.

تختلف تخمينات الخبراء عن الطاقة واحتياجاتها المستقبلية بدرجة كبيرة حتى قيل أن عدد توقعات استهلاك الطاقة للعالم هو بتعداد الخبراء المتكلمين في الموضوع

أولاً: إن سكان العالم في إزدياد مطرد والتوقعات المتحفظة هي أن يبلغ سكان العالم 8 مليارات بعد خمسين عام.

ثانياً: أن التقدم التكنولوجي في العالم وإرتفاع مستوى المعيشة يتطلب طاقة استهلاكية أكبر والتقديرات المعقولة تشير إلى أن زيادة استهلاك الطاقة سوف تكون بين ثلاثة أو أربع مرات بقدر الاستهلاك الحالي.

الفصل الثاني
التفاعلات النووية

التفاعلات النوويه: Nuclear peactions

(1-2) المقدمة:

التفاعل النووي هو عملية يتم فيها قذف نواة عنصر ما بجسيم نووي معجل,وينتج عن هذا التفاعل خروج جسيم وتتبقى نواة اخرى.

ولقد أمكن عن طريق قياس عدد الجسيمات الساقطة وعدد الجسيمات الخارجة من التفاعل وتوزيعها النووي ان نعرف شيئاً عن قابلية أو احتمال حدوث التفاعل النووي والتى تعتبر احد خصائصها النواة.

ولقد اكتشف العالم رذرفورد Rutherford أول تفاعل نووي عام 1919م,وذلك بقذف نواة غاز النتروجين بجسيم الفا من مصدر مشع,فقد لاحظ رذرفورد حدوث ومضات على حائل من كبريتد الزنك موضوع على مسافة من المصدر المشع أكبر من مدى جسميات الفا ويمثل التفاعل الذي اكتشفه رذرفورد بالمعادلة التالية:

$$N_7^{14} + He_2^4 \rightarrow O_8^{17} + H_1^1 \qquad _1.17MeV$$

وحدث اول تفاعل نووي باستخدام جسيمات معجلة عام 1930م بفضل العالمان "كوكردفت و والتون" وكان هذا التفاعل هو:

$$Li^7 + P \rightarrow He_2^4 + \alpha$$

ويمثل التفاعل النووي عامة بالمعادلة:

$$X + a \longrightarrow Y + b + Q$$

حيث ان:

X = النواه الهدف.

A = الجسيم الضارب.

Y = النواة المتبقية بعد التفاعل.

B = الجسيم الخارج من التفاعل.

Q = الطاقة المنطلقة من التفاعل.

ويرمز للتفاعل النووي بإختصار بـ X (a, b) Y

(2-2) أقسام التفاعلات النووية:

تنقسم التفاعلات النووية الى ثلاثة أنواع وهي :

1- تفاعلات التبعثر.
2- تفاعلات الإمتصاص.
3- تفاعلات الأسر.
4- تفاعلات الجسميات المشحونة الخفيفة.

أولا:تفاعلات التبعثر:

في هذا النوع من التفاعلات تنقسم الى قسمين وهي:

1- تفاعلات (عمليات) مرنه: وهي التفاعلات التى لا تنتج عنها طاقة تفاعل (Q=o) اي ان الجسيم الخارج من التفاعل يكون مماثلاً للجسيم الذي قذفت به النواة.
2- تفاعلات (عمليات) غير مرنه: وهي التفاعلات التى تنتج عنها طاقة تفاعل (Q≠o) ويمثل التفاعل بالمعادلة التالية :

$$X + a \longrightarrow y + b + Q$$

وهذه التفاعلات الغير مرنه تنقسم الى ثلاثة انواع وهي:

1- تشتت غير مرنه = inelastic Scattering

في هذه الحالة فإن الجسيم الناتج من التفاعل يكون مماثلاً للجسيم الضارب ولكن طاقتة تكون أقل وتترك النواة المتبقية في حالة إثارة

$$X + a \rightarrow X^* + \bar{a} + Q$$

(*)تعني ان النواة مثاره.

تكوين النواة المركبة:- Com pound underuse formation

في هذه التفاعلات فإن نواة الهدف تأسر الجسيم الضارب مكونة ما يسمى بالنواة المركبة وتتواجد هذه النواة لفترة زمنية معينة كبيرة نسبياً (في حدود 10 ث) بالمقارنة لزمن عبور الجسيم الضارب في النواة الهدف حوالي (10ث) وعندما تأثر نواة الهدف الجسيم الضارب تتوزع الطاقة في النواة المركبة وبذلك ترتفع هذه النواة الى حالة إثارة,بعد ذلك تضمحل النواة المركبة بالطريقة التي تكون ممكنة ويمثل التفاعل كالاتي:-

$$X + a \longrightarrow Z \longrightarrow y + b$$

وكمثال لتفاعلات النواة المركبة:

$$\overset{\star}{B}_5^{10} + He_2^4 \rightarrow (N_7^{14}) \rightarrow C_6^{13} + H_1^1$$

$$C_6^{12} + H_1^2 \rightarrow (N_7^{14}) \rightarrow N_7^{13} + n_0^1$$

2- التفاعلات المباشرة: Direct reactions :-

علي الرغم من ان معظم التفاعلات النووية تسيير عن طريق تكوين النواة المركبة فإنه توجد بعض انواع التفاعلات تتبع نظاماً آخر فمثلاً تتفاعل الديدترونات مع الانوية الخفيفة وينتج عن التفاعلات بروتون أو نيوترون.

وقد وجد ان مثل هذه التفاعلات تتبع نظاماً مباشراً في معظم الحالات مثل هذه التفاعلات تسمى تفاعلات مباشرة اوانتزاعية و فيها تنتزع النواة أحد النيوكلونين المكونين للديوترون أما النيكلون الأخر فيطير الي الخارج ولا تتكون أي نواة مركبة في مثل هذه التفاعلات.

وتستلزم هذه التفاعلات جسميات ضاربة ذات طاقة عالية ومن أمثلة لهذه التفاعلات.

$$Mn^{55}\,(d,p)mn^{56}$$

ثانيا: تفاعلات الإمتصاص:

يميز في هذا النمط من التفاعلات بين تفاعلات الاسر وتفاعلات الانشطار ويشمل كافة التفاعلات التي لا تكون فيها الجسيمات الناتجة عن التفاعل مساوية للجسيمات الداخلة فيه في هذه الحالة تمتص النواة المتفاعلة النترون وتصدر بعد ذلك أشعة قاما أو

جسيمات نووية (بروتون وجسيمات الفا وعدد من النيوترونات). أو تنشطر بذلك الى شظيتين.

ثالثاً: تفاعلات الأسر ومنها:

تفاعلات الاسر الاشعاعي:

وفي هذا التفاعل يتم إمتصاص النيوترون من قبل النواة المتفاعلة التي تنتقل بدورها ويسبب طاقة الارتباط المتحرره الى سوية إثاره عالية جداً بحدود (7-8) MeV تعود النواة المثارة الى حالتها المستقرة بالتخلص من طاقة الإثارة عن طريق إصدارها لأشعة قاما.

تطراء هذه العلمية عند تفاعل النيوترونات البطيئة والمتوسطة الطاقة مع النوي الخفيفة والمتوسطة وتجد إستخداماً واسعاً في توليد النظائر المشعة أهم مثال للأسر الأشعاعى للنيوترون مع الهيدروجين الذي ينتج عن الهيدروجين الثقيل واشعة قاما (γ)2.2mev.

$$H_1^1 + n \rightarrow H_1^2 + \alpha$$

يلعب هذا التفاعل دوراً هاماً في دراسة تدريج النيوترونات باستخدام مواد أسمنية تخفض جرعة قاما الناتجة بزيادة معامل توهين أشعة قاماً.

- تفاعلات الأسر مع إنتاج جسيمات مشحونة:-

مع إمتصاص النواة المتفاعلة للنيوترون تنتقل الى سوية أثارة عالية ثم تتفكك بعدها مصدراً جسيمات مشحونة كالبرتون وجسيمات الفا وهذا النمط من التفاعل نادر الحدوث لان طاقة الارتباط المتحررة تيجة اسر النيوترون لا تكفي في الغالب لحمل الجسيمات الناتجة عن التفاعل علي اختراق جدار كولون الكموني المحيط بالنواة يمكن للتفاعل ان يتحقق في حالة النوى ذات عدد الشحنة الصغير وفي حال كانت الحركية للنترون المتفاعل كافية لتعويض النقص في الطاقة القصوى للتغلب على الجدار الكموني.

يتحقق هذا التفاعل مع عدد قليل من النوى ضمن مجال واسع من طاقة النترون تستخدم تفاعلات هذه النوى للكشف عن النترونات اللحظية التي لا يمكن الكشف عنها بشكل مباشر لانعدام شحنتها وفقاً لهذا النمط من التفاعل تذكر من هذا التفاعلات المستخدمة في أجهزه قياس وكشف النترونات =

- العداد الغازية He^3 (n,P)He^3
- الكواشف نصف الناقله Li^6 (n,α)H^3
- العداد Bf_3 B^{10}(n, α)Li^7

- **تفاعلات الأسر من نمط (n,2n):**

يحدث هذا التفاعل اذا كان النترون المتفاعل من النمط السريع وبطاقة حركية أعلى من طاقة العتبة (بضعه MeV) الضرورية لإثارة النواة السوية المطلوبة . نذكر مثال:

النترونات السريعة مع اليريليوم: $Be^9 + n \rightarrow Be^8 + 2n$

يحدث هذا التفاعل اذا كانت طاقه النيترون الداخل تزيد عن طاقة العتبة ويمكنا له ان يلعب دوراً في رفع الحصلية النترونية للمفاعلات الحاوية على عاكس من البريليوم الا ان هذا المفعول ليس فعالاً جداً نظراً لان عتبة التفاعل أعلى من الطاقة الوسطى للنترونات الناتجة عن الانشطار والواقعة بحدود 109MeV ل U^{235}

(2-3) قوانين الحفظ (البقاء) في التفاعلات النووية:

- ومن الجدير بالذكر انه في كل العمليات النووية هناك عددة قوانين حفظ (بقاء) منها:-

أ- قانون بقاء العدد الكلي للنيوكلونات:-

وينص على ان العدد الكلي للنيكلونات المشاركة في التفاعل يظل ثانيا قبل وبعد تفاعلها كالأتي:-

$$Al_{13}^{27} + H_1^1 \rightarrow Mg_{12}^{24} + He_2^4$$

نجد ان العدد الكلي للنيوكلون الداخلة او الخارجة يساوي 28

ب- قانون بقاء الشحنة الكلية:-

وينص هذا القانون علي ان الشحنة الكلية للنيكلونات الداخلة والخارجة تظل ثابتة وفي التفاعل السابق:

$$AL_{13}^{27} + H_1^1 \longrightarrow Mg_{12}^{\cdot\cdot} + He_2$$

نجد ان الشحنة الكلية قبل وبعد التفاعل تساوي 14

ج- قانون بقاء كمية الحركة الخطية:-

وينص علي ان كمية الحركة الخطية تظل ثابتة بعد التفاعل ,فاذا كانت نواه الهدف ساكنة قبل التفاعل فان كمية الحركة الخطية التي تنتقل الي التفاعل عن طريق الجسيم الضارب تتوزع بعد ذلك علي نواتج التفاعل

د- قانون بقاء الكتلة الكلية:-

في التفاعل:

$$X + a \longrightarrow Z^* \longrightarrow Y + b + Q$$

علي الرغم من ان العدد الكلي للنيوكلونات الداخلة في التفاعل والخارجة منه يظل ثابتا فانه يوجد فرق بين مجموع كتل الجسيمات الداخلة في التفاعل والخارجة منه وتبعا لقانون بقاء الطاقة والتكافؤ بين الطاقة والكتلة فان الفرق في الكتلة يكافئ الطاقة وهي التي تضبط اتزان طرفي المعادله اي ان

$$Q = \{(mx + ma) – (my + mb)\} \times 931 \text{ MeV}$$

حيث وحدة الكتل الذرية تكافئ مقدارا من الطاقة قدرها 931 mev وفي حالة ما تكون{Q} موجبة تنبعث الطاقة من التفاعل ويسمي تفاعلا طاردا للحرارة ويمكن ان يحدث هذا التفاعل عند اي طاقة للجسيمات الضاربة .

اما اذا كانت {Q} سالبة فانة لكي يحدث التفاعل يجب ان يمتص قدرا من الطاقة ويسمي التفاعل في هذه الحالة بالتفاعل الماص للحرارة ولكي يحدث هذا التفاعل فان طاقة الجسيم الضارب يجب ان تكون اكبر من حد معين يسمي بالطاقة الحرجة وطاقة الجسيم الضارب في نظام مركز الكتلة يجب ان تكون مساوية للقيمة{Q} اي ان:

$$Ea_{th} \quad \frac{MX}{MX + MA} = -Q$$

حيث أن:

E_a : طاقة الجسيم الضارب في النظام المعملي وفي هذه الحالة تسمي بطاقة العتبة:

$$Ea_{th} = \frac{-MX}{MX + MA} Q$$

(4-2)تعين قيمة الطاقة [Q]للتفاعلات النووية:-

لايجاد قيمة الطاقة [Q] يجب ان نعتبر ان هناك جسم صدم نواة هدف ونتج عن هذا التصادم جسيم جديد له طاقة Eb وكتلته Mb ونواة جديدة كتلتها My وطاقتهاEy.

والنواة القذيفة (الجسيم الضارب) له طاقة Ea وكمية تحركها $pa=\sqrt{2MaEa}$ وطاقة النواة الهدف 0 = E_x لانها ساكنة وكمية تحركها 0 = P_x بالنسبة للجسيم المنبعث والنواة المرتدة تكون كمية الحركة

$E_a + Q = E_b + E_y$---------- (1)

ومن قانون بقاء كمية الحركة في اتجاه الجسيم الضارب نجد ان

$$\sqrt{2m_a}E_a = \sqrt{2m_b}E_b \cos\theta + \sqrt{2m_yE_y}\cos\emptyset \text{----------(2)}$$

وبقاء كمية التحرك في الاتجاه العمودي على اتجاه الجسيم الضارب وفي المستوي $(\emptyset.\theta)$ يعطى من :-

$$0 = \sqrt{2m_bE_b}\sin\theta - \sqrt{2m_yE_y}\sin\emptyset \text{ ----------}$$

وبتربيع (2) و(3) واضافتهما لبعضهما يمكن تعين قيمة طاقة النواه الناتجه (3) E_y وتعويضها نحصل على :

$$Q = E_b\left(1+\frac{m_b}{m_y}\right) - E_a\left(1-\frac{m_a}{m_y}\right) - 2\frac{\sqrt{E_aE_bm_am_b}}{m_y}\cos\theta$$

حيث كل من E_a , E_b, Ø مقاسه في النظام المعملي وبمعرفة قيم$m_b, m_a m_y$ بوحدةالكتل الذرية وذلك من خلال جداول خاصة وكذلك معرفة قيم E_a, E_b وزاوية التشتت Ø للجسيم الخارج فانة يمكن حساب طاقة التفاعل Ø من المعادلة السابقة.

[5-2] التفاعلات النووية ومستويات الطاقة:-

تمدنا دراسات التفاعلات النووية بالكثير من المعلومات عن مستويات الطاقة وطرق الاضمحلال لكل من النواتين المركبة والخارجة من التفاعل وبتعين طاقة الجسيم الضارب وطاقة الجسيم الخارج من التفاعل والتوزيع الزاوي للجسيمات الخارجة ومعدل حدوث التفاعل فانه يمكننا ان نحصل علي طاقة الاثارة لكل من النواتين المركبة والخارجة

[6-2]مستويات الاثارة في النواة المتبقية [الخارجية]من التفاعل:-

أدت الدراسات الخاصة بقياس طاقات الجسيمات الخارجة من التفاعلات النووية على الأنوية الخفيفة إلى حقيقة هامة وهي أن النواة الخارجة من التفاعل يمكن ان تتواجد في مستوى إثاره معين فعند إحداث تفاعل نووي بين البورون وجسيمات الفا (آتية من مصدر البولونيوم المشع) ذات الطاقة 5.3MEV وجد أن هناك مجموعتين من البروتونات خارجة من التفاعل وهاتان المجموعتان متعامدتان مع الاتجاه الأولي لجسيميات الفا الساقطة.

$$He_2^4 + B_5^{10} \rightarrow \ c_6^{13} + H_1^1 + Q$$

ومجموعة البروتونات الخارجية التي لها طاقة أكبر تعطي قيمة أكبر لطاقة التفاعل Q وهذه القيمة من Q تخص المستوى الأرضي للنواه الناتجة من التفاعل وإذا نتج عن التفاعل النووي أكثر من مجموعة من الجسيمات الخارجية فإن مستويات الطاقة للنواة الناتجة يمكن حسابها بقياس طاقة الجسيمات الخارجية وطاقة حركة الجسيم الضارب وقيمة(Q).

$$Wi^1 = Q - Qi^1 = Q + E_a - E_{bi}$$

حيث:

Wi^1= طاقة الإثارة لمستوى الطاقة رقم (i) في النواة الخارجة

E_{bi}= طاقة الحركة للجسيم الخارج والمؤدي لهذا المستوى (i).

والطريقة المتبعة في هذه الحالة هي أن نجعل طاقة الجسيمات الضارب ثابتة عند قيمة معينة ثم نكشف عن الجسيميات الخارجة عند زوايا معينة بإستخدام كاشف يعطي نبضات تكون متناسبة مع طاقة الجسيمات المكتشفة وعندما تدخل هذه النبضات إلى محلل النبضات عديد القنوات فإنه يمكننا الحصول على طيف الطاقة للجسيمات الخارجة وبالتالي يمكن معرفة طاقة هذه الجسيمات.

وإذا كانت قيمة الاشارة للمستويات في النواة الخارجة معروفة فإنه بقياس E_bللجسيمات الخارجية والمؤدية لكل منهما فإنه يمكن حساب قيمة(Q) لكل منها وتؤخذ أكبر قيمة لـ Q على أنها تخص الحالة الأرضية للنواه الناتجه.

(7-2) مستويات الطاقة في النواة المركبة:

بينت الدراسات العلمية لتغير عدد الجسيمات الخارجة من التفاعل مع طاقة الجسيمات الضاربة أن هنالك قمماً حاده عند قيم معينة وثابته من طاقة الجسيمات الضاربه وذلك لتفاعل معين وهذه القمم الحاده تخص مستويات الرنين في النواه المركبة وطاقة الجسيمات الضاربه التي يحدث عندها الرنين تسمى بطاقة الرنينEr ومما هو جدير بالذكر أن تغيير طاقة الجسيمات الضاربة يتم بإستخدام المعجلات النووية للجسيمات وهي أنواع كثيرة منها معجل فان دي جراف.وقد وجد أن النواه المركبة المتكونه عن طريق أسر الجسيم الضارب في نواة الهدف تكون طاقة إثارتها كبيرة وطاقة الإثارة هذه هي المسئولة عن إضمحلال هذه النواة المركبة.

الفصل الثالث

الانشطار والاندماج النووي

(3-1)المقدمة:

في نهاية1934تجمعت بيانات كافية حول تفكك النوى المقصوفه بالنيوترونات بحيث قادت فيرمي وزملاءه لإنتاج عناصر ذات عدد ذري أكبر من 92 بقصف اليورانيوم بنيوترونات . لقد سميت هذه العناصر transuranic elements.مما حث العديد من

الباحثين على المضي قدماً في محاولة إنتاج المزيد من العناصر. إستمر العمل على هذا النحو حتى عام 1938 حيث إكتشف عالمان ألمانيان هما fritzstrassman andattohahan اكتشافا مثير للدهشة ، لقد وجد أن اليورانيوم المقصوف بالنيوترونات ينتج بعض الأحيان نوى أصغر حجماً تقريباً نصف حجم النواة الأصلية.

لقد فسر كل من lisemeitherandottofrich هذا النمط من التفاعلات النووية بقولهم أن اليورانيوم بعد أن يمتص نيوترون ينشطر إلى عينتين متساويتين تقريباً لقد سميت هذه الظاهرة بالانشطار النووي تيمناً بالانشطار الخلايا البيولوجية ، إذاً فالإنشطار هو عملية تنشطر فيها نواة ثقيله إلى شطرين أو أكثر ذات أحجام قابله للمقارنه U_{92}^{235} هو من بين ثلاثة نوى ثقيله قابله للانشطار هي U_{92}^{233} و Pu^{239} أما طاقة النيوترن الحرارية فهي بحدود 0.025 ev بشكل عام يمكننا كتابة معادلة الانشطار النووي كما يلي:

$$n_0^1 + U_{92}^{235} \rightarrow U_{92}^{236} \rightarrow N_1 + N_2 + \text{ Neutrons}$$

حيث ان U_{92}^{236} هي النواة المركبة التي لا تظل موجودة لفترة قصيرة مقدارها 10^{-12}sec مما يعني أن العملية تجري بسرعة كبيرة جداً ، أما N_1 , N_2 فهما شظيتا الإنشطار .

لقد لوحظ بأن كتلة كل من الشظيتين لهما نصف كتلة اليورانيوم لكنهما نادراً ما يكونا متساويتان.

من التفاعلات الانشطارية النموذجية:

$$n_0^1 + U_{92}^{235} \rightarrow Ba_{56}^{141} + Kr_{36}^{92} + 3n_0^1$$

$$n_0^1 + U_{92}^{235} \rightarrow Ba_{56}^{144} + Kr_{36}^{89} + 3n_0^1$$

$$n_0^1 + U_{92}^{235} \rightarrow Sr_{38}^{94} + Xe_{54}^{140} + 2n_0^1$$

الانشطار لا يقتصر على القصف بالنيوترون فحسب بل يمكن أن يحدث بإستخدام جسيمات أخرى مثل جسيمات ألفا ، البرتونات و أشعة جاما.

(2-3) نظرية الانشطار:

لقد طورت هذه النظرية من قبل Niels Bohr and John Wheeler واستندت علي نموذج قطرة السائل . طبقاً لهذه النظرية تعتبر نواة اليورانيوم 235 عبارة عن كرة يتشوه شكلها عند إمتصاصها لنيوترون حراري هذا التشوه يزداد بزيادة إمتصاص

الطاقة حيث يتم إمتصاص نواهU^{235}لنيوترون لتصبح نواه U^{236} متهيجه(اي ذات طاقه اكبر) بعد ذلك ونتيجه للتذبذب العنيف تتكون رقبه بين فصين التنافر الكهربي بين هذين الفصين يمط من الرقبه الناشئه اكثر مما يؤدي إلى تكون قطرتين سرعان ما يتباعدان عن بعضهما . هذا التصور البسيط الذي يعطينا توضيحاً مبدئياً عن الخطوات التي يحدث فيها الإنشطار من الممكن ان يطور إلى نقاش اكثر عمقاً إذا ما أخذنا بنظر الإعتبار طاقة الوضع بين الشظيتين والمسافه بينهما ولو فرضنا أن نواتين كرويتين كل منهما له($\frac{1}{2}$A , $\frac{1}{2}Z$) ثم تقديمها الواحدة نحو الأخرى فأن طاقة الوضع تزداد كلما إزداد إقتراب النواتين إلى أن يتلامسا عندئذٍ تبدأ القوى النووية بالتأثير مما يؤدي إلى تكون رقبه بينهما واي زياده في طاقة الوضع نتيجة لزياده الطاقه السطحيه .هناك قيمه عظمى لطاقه الوضع تتحكم بها طاقة مساحه سطحيه معينه ما تلبث هذه الطاقه بالنقصان عندما تستمر النواتان بالإلتحام حتى تصبح نواة واحده ونأخذ الشكل الكروي وفي هذه الحاله لا يمكن للإنشطار أن يحدث إلا إذا تم تحضير النواة بطاقة خارجيه ، أما إذا لم تقل طاقه الوضع عندما تبدأ النواة بأخذ الشكل الأقل تشوهاً فإن النواة يمكن أن تنشطر تلقائياً في هذه الحاله . لكن حدوث الإنشطار التلقائي نادر الحدوث للعناصر المعروفه في وقتنا الراهن.

(3-3) أنواع الإنشطار النووي:

هنالك طرق عدة لإثارة نواة ما بحيث تكون هذه الطاقه كافيه لإنشطارها ومن ثم حدوث الإنشطار النووي وسوف نتناول هذه الطرق :

1- الانشطار الحراري:

يمكن للنيوترونات الحراريه أن تسبب إنشطاراً لبعض الأنويه عند قذفها بهذه النيوترونات مثل U^{235} وPu^{239} حيث تعرف هذه الأنويه بالأنويه الإنشطاريه ويعرف الإنشطار الناتج عن النيوترونات الحراريه بالإنشطار الحراري.

2- الإنشطار السريع:

يمكن هنا لبعض الأنويه الإنشطاريه عند قذفها بنيوترون سريع كما يحدث لليورانيوم 238 إذ يمكن لهذا النظير الإنشطار عند قذفه بنيوترونات تبلغ طاقتها مليون إلكترون فولت او يزيد وهكذا نجد أن هذا النظير لا ينشطر عند قذفه بنيوترون حراري او بطئ

ولكن الإنشطار ممكن عندما يقذف بالنيوترونات السريعه ويرجع ذلك إلى قيمه طاقة الإشاره التي تحصل عليها النواة عند قذفها بالنيوترونات.

3- الإنشطار بواسطة الجسيمات المشحونه:

يعتبر الإنشطار من الناحيه النظريه ممكن الحدوث عند قذف نواة ما بجسيمات مشحونه وقد وجد أنه يمكن أن تنشطر الأنويه متوسطة الكتله عند قذفها بالبروتونات فعلى سبيل المثال عندما تقذف أنويه النحاس 63 بالبروتونات (الطاقه تبلغ 50MeV على الاقل) فإنها تنشطر إلى الكلور والألمونيوم حسب العلاقه:

$$P_1^1 + Cu_{29}^{63} \rightarrow Cl_{17}^{38} + Al_{13}^{25} + n_0^1$$

كما يمكن أن تنشطر إلى الصوديوم والبوتاسيوم حسب العلاقة:

$$P_1^1 + Cu_{29}^{63} \rightarrow K_{19}^{39} + Na_{11}^{24} + n_0^1$$

كما يمكن أن يحدث الإنشطار لعدة أنويه متوسطه مثل البروم -79 والفضه 107 والقصدير 118 ، حيث يمكن التعرف على شظايا الإنشطار بالتحليل الكيميائي للنواتج . لقد وجد أنه يمكن ان يحدث تفاعل الإنشقاق بحيث يمكن أن تنشق النواه الهدف عند قذفها بالبروتونات وتنتج نواه جديده وتنطلق مجموعه من الجسيمات كما في العلاقه:

$$P_1^1 + Cu_{29}^{63} \rightarrow Cl_{17}^{38} + P_1^1 + n_0^1 + 6He_2^4$$

$$P_1^1 + Cu_{29}^{63} \rightarrow Na + P_1^1 + n_0^1 + 6He_2^4$$

حيث تبلغ طاقة البدايه لإنتاج الكلور حوالي110MeV بينما تبلغ هذه الطاقه لإنتاج الصوديوم حوالي 170MeV

4- الإنشطار الثلاثي:

ليس هناك نظرياً ما يمنع النواه المركبة من إنشطارها إلى ثلاث شظايا بدلاً من إثنين . لقد وجد أنه عند قذف نواة يورانيوم -235 بالنيوترونات البطيئه فإن هناك 3-4إنشطاراً ثلاثياً من مجموع 10^6 من الإنشطارات الثنائيه . كما وجد أنه هناك إمكانيه إنطلاق شظيتا إنشطار بالإضاف إلى جسيم ثابت عبار عن α عاليه الطاقة (بطاقه متوسطه قدرها حوالي(15MeV) . كما يمكن أن ينطلق التريتيوم(H_1^3) او الهيدروجين الثقيل.

كما دلت بعض الأبحاث على إمكانيه إنطلاق جسيمات تتراوح أعدادها الكتليه بين

4 و12 بالإضافه إلى شظيتي الإنشطار . حيث وجد أن إحتمال هذا التفاعل أكبر من الإنشطار الثلاثي ، إذ دلت الأبحاث على أن عدد هذه التفاعلات يبلغ حوالي 1172 من مجموعه الإنشطارات الثنائيه.

5- الانشطار االتلقائي:

تم إكتشاف الإنشطار التلقائي لبعض الانويه الثقيله عام 1940 فقد سجلت محاولات الإنشطار التلقائي لليورانيوم الطبيعي . وتتلخص التجربه من تبخير الماده تحت الإختبار على شكل طبقه رقيقه على قرص من البلاتين حيث توضع في حجرة تأين ، وعندما تنطلق شظيتا الانشطار في اتجاهين متضادين يتم الكشف عنهما . وهكذا أمكن الكشف عن الإنشطار التلقائي لانويه تتراوح اعدادها الذريه بين 90 و 96 بدءاً بالثوريوم وانتهاءاً بالكلوريوم وذلك حتى العام 1951 . كما لوحظ أن هذه الانويه الثقيله تطلق جسيمات α بالإضافه إلى إنشطارها التلقائي ، وتتفاوت النسبة بين هذين التفاعلين المتنافسين فمثلاً في حاله الكلوريوم وجد أن النسبه بين الإنشطار التلقائي إلى التحلل بإطلاق جسيمات α تساوي 6.2 إلى 10^8 كما تمت دراسه توزيع الطاقه بين شظايا الإنشطار فوجد أن الشظية الخفيفه تنطلق بطاقه تساوي65 وهذه النسبة تساوي تلك الناتجه عن إنشطار اليورانيوم والبلوتونيوم عند قذفهما بالنيوترونات البطيئه .

وبتقدم التقنيه العلمية تم تحضير الكثير من النظائر المشعه صناعياً حيث أمكن الوصول إلى انويه يبلغ عددها الذري 107 وعدد كتلتها 261 حيث لم تعطى لها أسماء حتى الآن . كما وجد أن نواه عددها الذري 105 وعدد كتلتها 261 تطلق أشعه α بنسبه تفرع تساوي 75% بينما تنشطر تلقائياً بنسبه تبلغ 25% تقريباً.

(4-3) بعض نواتج الإنشطار النووي:

لقد انتج انشطار اليورانيوم والتوريوم بقذفهما بالنيوترونات عدد كبير من النوى الذريه المختلفه ، وكشف عن اغلب نواتج الإنشطار هذه بالتجارب الكيميائيه وكشف عن بعض اخر منها بواساطه الاشعه السينيه من الذرات المستثاره المنتجه في اثناء الإنشطار.

وفي حالات كثيره تم الكشف عن النظائر المعينه الناتجه بمقارنه اعمار النصف لها باعمار النصف لنظائر الناتجه من انواع اخرى من التفاعلات النوويه. وتدل حقيقه انتاج هذا العدد الكبير من المنتجات المختلفه للإنشطار على أن نواة اليورانيوم او الثوريوم المستثاره يمكنها أن تنقسم بكيفيات كثيره مختلفه . وجميع منتجات الإنشطار المعروفه

حالياً تقع في الجزء المتوسط من الجدول الدوري حيث تمتد الأعداد الذريه من Z = 30 إلى Z = 63 ويتوافق التوزيع النسبي للنكليدات المختلفه بين منتجات الإنشطار على طاقه الإستثاره المتوافره لعمليه الإنشطار بين كميه ناتج الإنشطار(بالنسبه المئويه) وعدد الكتله لجزء الإنشطار في حاله إنشطار اليورانيوم 235 وعند إنقسام نوى اليورانيوم 235 بواسطه النيوترونات الحراريه تكون اكثر من 30 زوج من الشظايا ذات الكتله غير المتساويه في الغالب ويساوي مجموع العددين الكتليين للشظايا المتزاوجه 234 لان الذي ينقسم فعلاً هو نواة اليورانيوم 235 بينما تبعث الشظايا المستثاره نيوترونيين ، وتحتوي شظايا الإنشطار على زيادة في عدد النيوترونات مقارنه بعدد البروتونات كما هو الحال بالنسبه للمواد الإنشطاريه هذه الزياده في النيوترونات تجعل للشظايا نشاط بيتا الإشعاعي المتتالي حتى الوصول إلى الإستقرار على النحو التالي:

$$X_{54}^{140} \xrightarrow[16\ sec]{\bar{\beta}} Cs_{55}^{140} \xrightarrow[66\ sec]{\bar{\beta}} Ba_{56}^{140} \xrightarrow[12.8\ day]{\bar{\beta}} U_{57}^{140} \xrightarrow[40\ hours]{\bar{\beta}} Ce_{58}^{140}(stable)$$

كل شظايا الإنشطار نظائر مشعه البعض منها لا يوجد في الطبيعه اصلاً مثل اليروميثيوم والتكينيوم بعد النشاط الإشعاعي لنواتج الإنشطار من معوقات الإستفاده من الطاقه النوويه حيث انه يسبب مشاكل عديده ويسبب تراكم المواد المشعه مع الزمن داخل الوقود النووي صعوبه التعامل مع مكونات التفاعل حتى عند توقيفه .

(3-5) الإندماج النووي:

هو عمليه معاكسة للإنشطار النووي حيث أن نواتج التفاعل تكون اكبر من مجموع النوى المتفاعله الاصليه ، بالإضافه إلى أن الإندماج يحدث بين النوى الخفيفه كشرط أساسي حيث لا يحدث بين النوى الثقيله . يؤدي الإندماج النووي إلى إنطلاق طاقة نتيجه لان الكتله الكليه للنواه الناتجه اقل من الكتله الكليه للنوى المتفاعله الاصليه وهذا النقص في الكتله يتحول إلى طاقه يسمى التفاعل النووي بالتفاعل النووي الحراري لانه يحدث فقط عند درجات حراره عاليه جداً ويعتبر هذا النوع من التفاعلات مصدر للطاقه الشمسيه والنجوم التي تنتج من إندماج انويه الهيدروجين (الديتيريوم والتريتيوم) مع بعضها لتوليد انويه ذرات الهيليوم . إن تفاعلات الإندماج في الشمس ليست مباشره بل تأخذ المراحل التاليه :

$$P + P \rightarrow d + e^{+} + v$$

$$P + d \rightarrow He^3 + \gamma$$

$$P + He^3 \rightarrow He^4 + e^+ + v \quad (1)$$

حيث أن d

تعني الديتيريوم وعند جمع التفاعلات الثلاث نحصل على

$$Up \rightarrow He^4 + 2e^+ + v$$

اي ان التفاعلات الثلاثه تمثل تحول اربعه بروتونات لتكون نواة الهيليوم والكترونين. إن التفاعل في المعادله(1) يحصل في الشمس وهومن التفاعلات البطيئه واحتماله على سطح الاض ضعيف لذلك يفضل التفاعل بين الديتريوم والتريتيوم للاندماج للأسباب التاليه:

1- سهوله الحصول على الديتريوم من مياه البحار والمحيطات.
2- يمتاز انتاج طاقه عالية واقل درجه حراره لبدء التفاعل هي 10^8K^0.
3- إحتمال هذا التفاعل اكثر من تفاعل الديتريوم – الديتريوم ماده مره بينما لا يحدث تفاعل بين الديتريوم والتريتيوم لانها اقل من درجه العتبه لبدء التفاعل.
اوضحت الحسابات النوويه بان 1% فقط من كتله الهيدروجين في النجم تكفي لبقائه مضيئاً ومشتعلاً وساطعاً بنفس قوته لمده تزيد على مئات ملايين الاعوام

الطاقه الناتجه من إندماج نواتين من الهيدروجين صغيره مقارنه مع الطاقه الناتجه من إنشطار نواة يورانيوم واحده ولكن كتله الوقود المستخدمه في حاله الإنشطار تساوي حوالي تسعه اضعاف الكتله المستخدمه في حاله الاندماج .

ولهذا يعتبر وقود الاندماج (الهيدروجين) ارخص و اوفر من وقود الانشطار .

يحدث الإندماج النووي تحت ضغط شديد ودرجه حراره عاليه ولهذا فان هذه التفاعلات تحدث في النجوم حيث تصل درجه حرارتها إلى ملايين الدرجات المئويه ، وكان اول تطبيق للانسان في الاندماج النووي غير المسيطر عليه هو انتاج القنبله الهيدروجينيه والتي تتكون من نظائر الهيدروجين بكميه كبيره والتي تندمج مع بعضها تحت ضغط شديد ودرجه حراره عاليه والتي يمكن توليدها بواسطه مواد إنشطاريه توضع بداخلها ويؤدي إنشطارها إلى توليد ضغط قوي ودرجه حراره عاليه .

اما الحصول على تفاعلات الاندماج بطريقه مسيطر عليها يعتمد على توفير وعاء يحتوي على البروتونات والالكترونات في حاله اتزان حراري بينهما (حاله البلازما) وعند درجه حراره عاليه وتوفير كثافه عاليه لهذه الجسيمات لضمان بدء التفاعل .

(6-2)كيف نحصل على طاقة الإندماج النووي:

لانتاج كميات كبيره من الطاقه بواسطه الاندماج النووي يجب توفير ثلاثه شروط:

1- يجب تسخين وقود الإندماج إلىدرجات حراره عاليه جداً ، حيث أن درجه الحراره الدنيا المطلوبه لاندماج الديتريوم والتريتيوم هي مائة مليون (مْ) وفي درجات الحراره هذه تمتلك الجسيمات طاقه كافيه للتغلب على التنافر فيما بينها الناتج عن كون الايونات ذات شحنه موجبه وعندئذ يصبح التفاعل النووي ممكناً ونحصل على الاندماج المذكور في التفاعلات اعلاه .

2- يجب أن يكون عدد الجسيمات كافياً للحصول على طاقه عاليه تكفي لاستمرار التفاعل ويسمى عدد الجسيمات في وحده الحجم بالكثافه.

3- يجب أن يحتفظ الوقود بطاقته لفتره معينه من الزمن تسمى زمن الاحتواء او الحص.

(7-2) التفاعلات الحراريه النوويه:

اولاً: دوره البروتون – بروتون الشمس عباره عن مفاعل نووي اندماجي ، حيث يعتقد العلماء أن الطاقه تنتج من سلسسله من التفاعلات الإندماجيه تسمى دوره البروتون – بروتون وهذه تشمل التفاعلات التاليه :

$$H_1^1 + H_1^1 \rightarrow He_1^2 + e^+ + V + .42MeV$$

$$H_1^1 + H_1^2 \rightarrow He_2^3 + \gamma + 5.49MeV$$

وتنتهي هذه السلسلة بالتفاعل

$$H_2^3 + He_2^3 \rightarrow He_2^4 + e^+ + Neutrino + 12.86MeV$$

أو بالتفاعل الأقل احتمالا:

$$H_1^1 + H_2^2 \rightarrow He_2^4 + e^+ + Neutrino + 19.28MeV$$

التالية: عندما ننظر إلى هذه التفاعلات نجد أن محلتها جميعاً يمكن كتابتها على الصورة

$$4H_1^1 \rightarrow He_2^4 + 2e^+ + 2Neutrino + \gamma + 24.69MeV$$

لاحظ هنا أن البوزنيرونات (e^+) سوف يحدث لها افناءاً ويتحررتبعاً لذلك قدراً Mev من الطاقه يساوي 1.02 ومن ثم فإن الطاقه الناتجه عن التفاعل تساوي 26.73 .

ثانياً: دورة الكربون

هناك مجموعه أخرى من تفاعلات الإندماج يعتقد حدوثها في الشمس والنجوم الأخرى تسمى درة الكربون وتشكل التفاعلات التاليه:

$$H_1^1 + C_6^{12} \rightarrow N_7^{13} + \gamma + 1.95MeV$$

ثم يتحلل النتروجين بعمر نصف قدره حوالي 9.96 دقيقه حسب التفاعل:

$$N_7^{13} \rightarrow C_6^{13} + B^+ + V + 1.20MeV$$

$$H_1^1 + C_6^{13} \rightarrow N_7^{14} + \gamma + 7.55MeV$$

$$H_1^1 + N_7^{14} \rightarrow O_8^{15} + \gamma + 7.34MeV \quad \text{———(3.16)}$$

ثم يتحلل الأوكسجين بعمر نصف قدره حوالي 124 ثانيه حسب التفاعل:

$$O_8^{15} + N_6^{15} + B^+ + V + 1.68MeV$$

$$H_1^1 + N_7^{15} \rightarrow C_6^{12} + He_2^4 + 4.96MeV$$

لاحظ هنا أن هذه السلسله من التفاعلات تبدأ بالكربون او بالنتروجين حيث يتبادل هذان العنصران الظهور في السلسله الا في حالة التفاعل الاخير فانهنالك احتمالاً لتكون الاكسجين

(O_8^{16}) وانطلاق اشعة قاما الا ان هذا الاحتمال لايتجاوز

(10^{-5}) من الاحتمال الاخير كما واننا نلاحظ ان الكربون والنيتروجين هنا يعملان

الكربون والنتروجين هنا يعملان كعاملين مساعدين في الكيمياء إذ أن تأثيرهما النهائي للعمليات (3.16) هو تحول أربع نويات هيدروجين إلى نواة الهيليوم وبجمع الطاقات والأخذ في الإعتبار طاقات تلاشي اليوزنيترونات ينتج أن الطاقه الناتجه هنا 26.73 وهذا بالضبط ما وجدناه في دوره البروتون – البروتون.

الفصل الرابع

المفاعلات النووية

المفاعلات النووية:

(4-1) المقدمة:

إن المفاعل النووي هو جهاز الغرض منه السيطرة على عمليه الانشطار النووي المتسلسل والناتج عن وضع كميه من الوقود النووي ثم تعريضها إلى مصدر نيوتروني . عند تعرض ذره الوقود إلى نيوترونات يحتمل أن تمتص (تقتنص) احدالنيوترونات المصطدمة بها ونتجه الامتصاص تحصل على نيوترونين او اكثر لليورانيوم 235 (نحصل على 2.5 نيوترون بالمعدل لكل نواه تنشطر) عند إصطدام احد هذه النيوترونات الناتجه عن الإنشطار بذره وقود أخرى نحصل أيضاً على إنفلاق جديد وعدد أخرمن النيوترونات وباستمرار العمليه نحصل على التفاعل المتسلسل والغرض من المفاعل هو السيطره على هذا التفاعل ومنعه من ان يصبح ذو طاقات عاليه تصهر المواد التي حوله وتتلف ما يحيط به .

والمفاعلات انواع يعتمد تصميمها على نوع السيطره التي تستخدمها على التفاعل النووي بالإمكان تصنيفها حسب نوع التصميم المستخدم فلدينا مثلاً مفاعلات الماء الثقيل ومفاعلات الماء المضغوط والمفاعلات المبرده بالغاز .....الخ كما يمكن تصنيف المفاعلات حسب الطاقه التي تنتجها .

(2-4) مكونات المفاعل النووي الانشطاري:

بالرغم من تباين الأغراض التي تنشأ من أجلها المفاعلات فإن عناصر مكوناتها هي نفسها في كل مفاعل وهي كالاتي:

1- **قلب المفاعل:** يحتوي قلب المفاعل على الوقود النووي وقضبان التحكم والمهدئ والمبرد والعواكس.

i- الوقود النووي: عباره عن قضبان من اليورانيوم او اوكسيد اليورانيوم الطبيعي او الثري (المخصب) باليورانيوم 235 هذه القضبان مجمعه على هيئه خرم او قطاعات بحيث تسمح للمبرد أن يتدفق خلالها لإستخراج الحراره منها .

ii- قضبان التحكم: وهي مواد شديده الإمتصاص للنيوترونات مثل الكادميوم والبورون وهي ايضاً مغلفه ويسمح لها بالمرور خلال قطاعات الوقود للتحكم في التفاعل الإنشطاري وفي كثير من الأحيان يحتوي قطاع الوقود على قضبان التحكم .

iii- المهدئ: وهو وسط يتخلل قضبان الوقود لتهدئه طاقه النيوترونات ومن اهم خصائص المهدئ أن يكون خفيف الكتله قليل الإمتصاص للنيوترونات مثل الكربون والهيدروجين والماء العادي والماء الثقيل .

iv- المبرد: وهو الماده التي تقوم بتبريد قلب المفاعل وحفظ درجه حرارته تحت الحد الأعلى للأمان ^{x}ن، وفي نفس الوقت تقوم بنقل الحراره من قلب المفاعل إلى خارجه لتوظيفها في توليد البخار لإداره التوربينات او في معظم الحالات تستخدم ماده واحده لتقوم بوظيفتي المهدئ والمبرد مثل الماء العادي والماء الثقيل وثاني اكسيد الكربون .

v- العواكس: تزود اطراف قلب المفاعل عاده بعواكس من مواد خفيفه وظيفتها الحفاظ على النيوترونات من التسرب خارج المفاعل وعكس بعض النيوترونات ثانية إلى قلب المفاعل ، توضع أحياناً عواكس إضافيه من اليورانيوم 238 للإستفاده من النيوترونات المتسربه خارج المفاعل لتحويل هذه الماده الخصبه إلى ماده إنشطاريه مثل البلوتونيوم 239 .

2- وعاء الضغط يصنع وعاء الضغط عاده من الحديد غير قابل للصدأ والذي يزيد سمكه عن 20 سم لكي يتحمل الضغط العالي ودرجات حراره تزيد على 2000 درجه فهرنهايت ووعاء الضغط مصمم بحيث يسمح بمرور أنابيب التبريد والكابلات ودوائر الحمايه وخلاف خارج الوعاء وكذلك تزويده بالدروع والعوازل .

3- المبادل الحراري يستخدم المبادل الحراي عاده في دوائر الديناميكا الحراريه غير المباشره حيث تنتقل الطاقه الحراريه من دائره التبريد الأولى التي تبدد قلب المفاعل إلى دائره تبرد ثانويه .

4- السبب الأساسي لإستعمال دائره ثانويه هوالحصول على بخار نظيف خالى من الإشعاعات عكس ماهو متوافر في دائره التبريد الأولى الذي يكون عاده ملوثاً بلإشعاعات بعد ذلك يستعمل البخار لتحريك التوربينه ومن ثم توليد الطاقه الكهربيه.

(3-4) أنواع المفاعلات النوويه الإنشطاريه:

المفاعلات المستخدمه لإنتاج الطاقه الكهربيه بقدرات عاليه على نطاق تجاري حالياً والتي تحت الإنشاء أيضاً معظمها من المفاعلات المبرده بالغاز او بالماء الخفيف او بالماء الثقيل او المفاعلات الولوده السريعه .

1-3-4: المفاعلات المبرده بالغاز

وهي مفاعلات وقودها من اليورانيوم الطبيعي ويستخدم فيها الجرافيت كمهدئ وثاني اكسيد الكربون كمبرد في دوره اوليه لينقل الحراره إلى دوره ثانويه لتوليد البخار على جدار مفاعل الماء المضغوط . ويخرج ثاني اكسيد الكربون من قلب المفاعل إلى درجه حراره 400 (مْ) وضغط يعادل 70 ضعف الضغط الجوي وهذا النوع تم تطويره وإستخدامه لأول مره في بريطانيا 1956 وقد تم تطوير نوع اخر من نفس الطراز ولكنه يستخدم يورانيزم متري إلى 2.3% من النظير 235 كوقود وسميت المفاعلات المتقدمه المبرده بالغاز.

2-3-4 مفاعلات الماءالخفيف: يستخدم فيها الماء الخفيف العادي كهدئ لطاقه النيوترونات وكمبرد لقلب المفاعل لإستخلاص الطاقه الحراريه والإستفاده منها وقد تركت الطاقه الذريه الباب مفتوحاً للقطاع الخاص في تطوير مبدأ إستخدام الماء الخفيف

لما له من خصائص مميزه فهو رخيص الثمن ومتوافر بكميات كبيره وناقل جيد للحراره ووسط جيد أيضاً تهدئه طاقه النيوترونات .

ونظراً لإحتمال إمتصاص الماء الإعتيادي للنيوترونات يكون الأمر الذي يؤدي إلى إمكانيه تصميم المفاعل بحيث تكون كثافه القدره المتولده عاليه مما يجعل حجم المفاعل صغيراً لنفس القدره الحراريه ومن اهم مميزات مفاعلات الماء الخفيف ان بناءها أقل تكلفه واحجامها اصغر من المفاعلات المبرده بالغاز فضلاً عن كفاءتها العاليه نسبياً.

3-3-4 مفاعلات الماء المضغوط: المكونات الرئيسيه لمفاعل الماء المضغوط هي:

المفاعل ودائره التبريد الأولى والمبادل الحراري ودائره التبريد الثانيه والتوربين مع المكثف وكذلك المولد الكهربي.

وفي هذا المفاعل يكون ماء التبريد في قلب المفاعل تحت ضغط عالي يصل إلى 160 جوي لمنع غليان الماء اما درجه حراره الماء فحوالي 300 (مْ) . يغادر الماء الساخن قلب المفاعل عن طريق دوره التبريد الأولى إلى المبادل الحراري حيث يتم انتاج البخار في دورة التبريد الثانيه فيكون البخار نظيفاً نظراً لتكون البخار في المبادل الحراري بعيداً عن قلب المفاعل .

يوجه البخار في دوره التبريد الثانيه إلى التوربينفيتمدد معطياً شغلاً نافعاً ثم يتحول إلى ماء غبر المكثف يعود بعدها إلى المبادل الحراري طبقاً لدوره (لانكن) الحراريه وفي مفاعل الماء المضغوط تعمل اعمده التحكم من اعلى وهذا اكثر اماناً حيث تستطيع الأجهزه الميكانيكيه لاعمده التحكم ان تعمل تلقائياً تخت تأثير وزنها عند حدوث اي عطل.

اما وقود مفاعل الماء المضغوط فغالباً ما يكون من ثني اكسيد اليورانيوم الثري بنظير اليورانيوم 235 بنسبه 3.3% بالنسبه لوعاء الضغط فهو مصنوع من الذي يبلغ قطره حوالي 10 امتار وطوله 22 متر تقريباً وقد يصل سمكه إلى 25 ســم ليتحمل درجه الحراره والضغط العاليين وبالتالي فتكاليف وعاء الضغط في مفاعل الماء المضغوط عاليه نسبياً .

وكذلك وجود المبادل الحراري وملحقاته يجعل تكاليف محطه مفاعل الماء المضغوط اعلى من محطه الماء المغلي وكذلك فان كفاءته اقل.

بالرغم من ذلك فان مميزات مفاعل الماء المضغوط من سمه الإتزان الديناميكي لمسايره تغير الأحمال ووصول البخار النظيف إلى التوربين وكون اعمده التحكم من اعلى لكل

ذلك يزيد من امان هذا النوع من المفاعلات ويؤكد الإتجاه الحالي لصالح مفاعلات الماء المضغوط.

4-3-4 مفاعلات فحص المواد: يستهدف الغرض من تصميم هذه المفاعلات في الأساس فحص سلوك المواد المختلفه في مستويات عليا من الإشعاع يصل سيل النيترونات في هذه المرحله إلى 5×10^{4} نيوترون ($1cm\ sec^{-1}$) وسيتخدم اليورانيوم المخصب بنسبه تصل 93% من اليورانيوم 235 كوقود والماء العادي كمهدئ ومبرد في أن واحد وستخدم عنصر البريليوم كعاكس اول والجرافيت كعاكس ثاني بسمك 80cm اما الدرع الواقي فهو من الخرسانه بسمك 180 cm .

والمفاعل مجهز من قنوات لفحص المواد ولإجراء التجارب وتجري للسيطره على التفاعل المتسلسل بواسطه قضبان من الكادميوم محكمه التصميم .

وتعد هذه الأنواع من المفاعلات ذات السيل النيوتروني العالي إلى ما يدعى بتأثير التسمم بالزينون فمن المعروف أن الزينون 135 هو نظير مشع فتره نصف عمره 2.9 ساعه ومقطعه العرضي $2.7\ x\ 10^{6}$ baran يتولد في المفاعل اثناء عمله مما يؤدي إلى إنخفاض معامل التكاثر (k) بحوالي 0.04 وفي اعقاب ايقاف المفاعل عن العمل تزداد نسبه الزينون 135 بفعل الانحلال

$$I^{135} \xrightarrow{B^-} Xe^{135} \quad 2.7\ barn$$

وبعد مرور دقائق من ايقاف المفاعل يعب (n,γ)ويسبب عدم إستهلاكه بالتفاعل تشغيله مره اخرى لإنخفاض معامل التكاثر بمقدار 0.03 ولا يستعيد المفاعل قدره على معاوده العمل الإ بعد مرور يومين على الأقل.

5-3-4 مفاعلات الجرافيت: بنى اول مفاعل جرافيت 1943 في مدينة Oakridge في الولايات المتحده يتألف قلب المفاعل Care وسعته 24 قدماً مكعباً من عدد من قطع الجرافيت مجهزه باكثر من الف قناه للوقود النووي ويتكون الوقود من 35 طن من فلز اليورانيوم بشكل قضبان مغلقه بالألمونيوم ويتم تبريد الوقود بالهواء ويعمل الجرافيت كعاكس للنيوترونات ويحاط القلب بدرع واق من الخرسانه بسمك 140cm مزود بقنوات للتجارب النوويه واخرى لقضبان السيطره .

والمفاعلات من هذا النوع لا تخلو من إحتمال التلوث النووي وبخاصه تلوث هواء التبريد عن طريق التفاعل.

$T_{\frac{1}{2}}$ = 109min $Ar^{40}(\mathrm{n},\gamma)Ar^{41}$

وقد قدر وزن الأرجون المتكون بحوالي 160 جرام وبجرعه اشعاعيه مقدارها 16 ci ومن بين اغراض مفاعل الجرافيت انتاج البلوتونيوم 239 عن طريق التفاعل.

$$U_{92}^{238} \xrightarrow{n,\gamma} U_{92}^{239} \xrightarrow[2.3min]{\beta} Np_{93}^{239} \xrightarrow[2.3min]{\beta} Pu_{94}^{239}$$

ان الطاقه المنطلقه في كل عمليه إنشطار لنواه اليورانيوم في جدول 190 mev لذا فإن معدل الإنشطار يكون 10^{17} لكل ثانيه . وفي حاله عمل المفاعل بقدره kw 3800 كما ان معدل انتاج البلوتونيوم 239 بحدود ذره في اليوم الواحد اي 49 في اليوم ومثل هذه المفاعلات اصبحت ذات فائده محدوده في الوقت الحاضر. **(4-4)**

مفاعلات الإندماج النووي:

تشكل تفاعلات الإندماج النووي البديل الثاني الرئيسي لتفاعلات الإنشطار النووي كمصدر للطاقه . ينتج من اندماج النوى الخفيفه طاقه فائضه بسبب طاقه الربط الإضافيه الناتجه من تكوين النوى الأكبر المتولده من التفاعل .وهذا التفاعل هو مصدرالطاقه التي تأتينا من الشمس والنجوم وهو مصدر الطاقهالرئيسيه الناتجه عن تفجير القنابل الهيدروجينيه.

كما يعتبر امل الإنسانيه في الحصول على طاقه لا تنضب ورخيصه وقليله التلوث حيث ان الوقود الرئيسي هو الديوتيريوم (الهيدروجين الثقيل) الموجود في الهيدروجين في تركيب جزيئات الماء بنسبه جزء من 6500 جزء .

هنالك العديد من تفاعلات الإندماج التي يمكن ان تشكل مصدر للطاقه اهمها تفاعل دورة :البرتون- برتون (P-P)

$$H_1^1 + H_1^1 \rightarrow H_1^2$$

والطاقه الناتجه هائله بالمقارنة مع الطاقه الكيميائيه والطاقه الناتجه عن حرق ذرتي هيدروجين مع ذره اوكسجين لانتاج جزيئه ماء تساوي 1 ev ونلاحظ من التفاعلات قلة او انعدام المواد المشعه وان وجدت فهي لا تشكل ملوثاً إضافياً للطبيعه فالمصدر الوحيد للإشعاع الملوث هو التفاعل الثاني الذي ينتج عنه التريتيوم وهو باعث لاشعه بيتا ولكن هذا النظير موجود في الطبيعه فيطبقات الجو العليا وهو قصير عمر النصف نسبياً.

(5-4) مزايا المفاعلات النوويه:

1- توجد ماده الديوترون بالطبيعه بكميات قاتله وبكلفه قليله لذلك يمكن إعتبار هذه الصيغه من الوقود متوفره بصوره دائمه .
2- المصدر الرئيسي الاخر للوقود هو التريتيوم وهو يبعث دقائق بيتا وان لم يتوفر طبيعياً بكميات كافيه لاسناد مفاعلات القدره الأ انه بالإمكان توفره من تفاعلات بسيطه كتفاعل النيوترون مع الليثيوم داخل مفاعل الإندماج والليثيوم ماده متوفره في الطبيعه .
3- تسبب النيوترونات الناتجه من التفاعل نشاطاً إشعاعياً في المواد المحيطه بالمفاعل ولكن هنالك برامج بحوث متطوره لإيجاد مواد اقل تأثراً بالتفاعل مع النيوترونات وتنتج عنها مواد أقل إشعاعيه من تلك المستخدمه في مفاعلات الإنشطار.
4- يمكن أن تستخدم مفاعلات الإندماج المتطوره الديوتيريوم او مواد اخرى غير مشعه كوقود لانتاج عدد اقل من النيوترونات ولكن تصبح الظروف المطلوبه بحدود 500 مليون درجه مئويه مثلاً وهي اكبر كثيراً من درجه الحراره المطلوبه لوقود الديوتيريوم – تريتيوم .
5- في حاله إستمرار التفاعل يكون الناتج النهائي (الرماد) هيليوم وهو ماده غير مشعه.

(6-4) وقود المفاعلات النوويه:

هنالك عدد من الخيارات في عمليه اختيار الوقود النووي لمفاعل ما ويمكن القول ان الامر يتلخص في اختيار نوع المواد الإنشطاريه لمفاعل نووي معين فمن الممكن اضافه انواع مختلفه من النظائر والمواد المختلفه ذات الأهميه الكبيره واهم تلك المواد مادتان إنشطاريتان هما :

اولاً : البلوتونيوم 239 المشتق من اليورانيوم 238 .

ثانياً : اليورانيوم 233 وهو نظير يورانيومي مشتق من نظير الثوريوم العنصر الثقيل الطبيعي ويختصر النظير الأول البلوتونيوم 239 بواسطه سلسله التفاعلات والإنحلالات الموضحه أدناه:

تتحول ذره(يورانيوم -238) بعد إمتصاص نيوترون إلى ذره (يورانيوم -239) وما يلبث النظير الأخير ذو العمر القصير.

(عمره النصفي = 23.5 دقيقه) أن يعطي بيتا سالبه (إلكترون) ويكتسب إلكتروناً من قشرته الخارجيه ويتحول بذلك إلى (النبتونيوم – 293) وهذا الأخير بدوره أيضاً نظير غير مستقر (عمره النصفي = 2.35 يوما) ويعطي بدوره جسيمه بيتا سالبه علاه على إشعاع جاما فيصبح (بلوتونيوم – 239) وهذا النظير مماثل لليورانيوم – 235 تماماً ، اي أنه ماده إنشطاريه فعندما يمسك نيوتروناً ينفلق إلى شظيتين مع توليد طاقه هائله .

ومن الجائز ان تكون هذه الطاقه اكبر من تلك الناشئه من إنشطار(يورانيوم - 235) وفي ادناه مخطط سلسله الإنحلال للحصول على هذا النظير:

$$U^{238} \xrightarrow{(n,\gamma)} U^{239} \xrightarrow{-\beta} Np^{239} \xrightarrow{-\beta} Pu^{239}$$

أما سلسله الثوريوم فتكون كما يلي:

تمتص ذره (الثوريوم – 232) نيوترونا فتصبح نظيرا اخر قصير العمر هو (التوريوم – 233) (عمر النصف = 22.2 دقيقه).

وهذا يفقد بدروه جسيما اخر من جسيمات بيتا السالبه ويصبح عندئذ نظيرا جديدا هو (بروتاكتينيوم – 233) (Pa^{233} protactinium) والذي له عمر طويل نسبياً (عمر النصف 24.7 يوما).

إن هذا النظير بدوره لايلبث ان يعطي جسيم بيتا سالبه ليتحول إلى نظير (اليورانيوم – 233) ويمكن لهذا النظير الاخير ان ينشطر مثلما هو الحال مع (يورانيوم – 235) او (البلوتونيوم – 239) عن طريق الإقتناص النيوتروني وفي ادناه مخطط سلسله الإنحلال للحصول على هذا النظير.

$$Th^{232} \xrightarrow{(n,\gamma)} Th^{233} \xrightarrow{-\beta} Pa^{233} \xrightarrow{-\beta} U^{333}$$

ولكي يستمر التفاعل المتسلسل يجب ان يصمم المفاعل الذي يستعمل في اليورانيوم الطبيعي بحيث تستطيع معظم النيوترونات ان تتحاشى الإمتصاص بواسطه ذرات (يورانيوم – 238) وعلى الرغم من ذلك فلا مفر لعدد او بعض من هذه النيوترونات من ان تمتص من قبل هذه الذرات ، ولذلك لابد من ان يكون هناك دائما فيض زايد صغير من النيوترونات لكي يحصل الإمتصاص الجانبي وغير المرغوب فيه من دون ان يتوقف التفاعل المتسلسل ويكمن ايضا ان تضاف لهذا الغرض كميه ضئيله من البلوتونيوم في قضبان اليورانيوم الموجوده في المفاعل

حتى لو كان يعمل بقدره ذات مستوى منخفض جداً ولتوخي الزياده في انتاج البلوتونيوم يجب رفع منسوب القدره ، فكلما إزداد عدد الذرات المنشطره إزداد ما يصنع من البلوتونيوم.

إن اليورانيوم له طاقه عظيمه ، فمقدار طاقه نواه اليورانيوم عند الإنشطار تمثل قدراً خيالياً قياسياً بكتله هذه النواه ، إذ تقاس درجه الحراره الناجمه عن القنبله النوويه بملايين الدرجات ولكننا إذا قارنا بين أنواع الوقود التي يمكن الحصول عليها بالرطل فانااليورانيوم يكون اغلاها ولا يصح إستخدامه إلا إذا وجدت طريقه أو اخرى لإستخلاص اكبر مقدار من القدره التي يمكن انتاجها وذلك بحيز صغير ، ويشير هذا بالاخر عدد من الصعوبات الجدية إحداهما هي مسأله الحراره فمن الجلي ان الوصول إلى كفايه معقوله في إستخلاص الطاقه النوويه معناه الوصول إلى درجات حراره عاليه فتنخفض عمليه التشغيل .

إن اكثر المواد المعروفه التي تعمر للحراره لا تتحل اكثر من 2000 درجه فهرنهايتيه عليه يجب ان يأخذ مصمم المفاعلات في إعتبارهم تأثير الحراره في جميع عناصر المفاعل مثل المواسير والمبرد والمهدئ والعواكس والوقود نفسه ولكن هناك مشكله اصعب من مشكله الحراره هي حقيقه كون الفيض النيوتروني القوى المتولد داخل المفاعل سبباً في اتلاف المواد ولا سيما المعادن ، وحتى المواد التي تتحمل درجات الحراره العاليه لا تستطيع مقاومه الجزيئات النوويه المنبعثه من الإنشطار النووي بطاقات عاليه.

(4-8) الوقايه وتصريف النفايات في المفاعلات النوويه:

لقد جلبت كارثة المنشاه النوويه في بنسلفانيا عام 1969 وحادثه مفاعل شرنوبل في اوكرانيا الإنتباه لامان المفاعل ، فقد كانت حادثه بنسلفانيا نتيجة عدم ملائمه تنظيم المكان وضعف تدريبات إستجابه الطوارئ لم تسجل جروح او مشاكل صحيه عن الحادثه بالرغم من ذوبان ثلث الوقود .

لكن لم تكن الامور هكذا بالنسبه لحادثه شرنوبل حيث كان النشاط الإشعاعي المتحرر مباشره بعد الحادث مقداره (2×10^{19} Bq) تقريباً ونتج عن الحادث

ترحيل 135000 شخص ومات 30 شخص خلال الحادثه او بعده بوقت قصير وتوقعت البيانات الصادره في المؤسسة الأوكرانيه موت 2500 شخص بسبب الحادث وتعرض على الاقل 237 شخص من تشمع جلد حاد واصيب حوالي 800 طفل بعد ذلك بسرطان الغدد الدرقيه من تناول اليود المشعع في حليب الابقار الملوث من الحشائش المشممه . تنجز سلامه المفاعلات التجاريه من خلال التصميم المحكم واتفاقيلت التشغيل الصارمه وعندما تتم المساومه اوالتلاعب بهذه العوامل سيكون الخطر وشيكاً.

ان التعرض للإشعاع والمخاطر الصحيه المصاحبه لمثل هذا التعرض تتم السيطره عليه بواسطه ثلاثه طبقات من المحتوى حيث يتم إحتواء الوقود ونواتج الإنشطار المشعه داخل حاويه المفاعل وان تعرض هذه الحاويه للتلف فإن بناء المفاعل يعمل كعمل حاويه ثانيه لمنع المواد المشعه من تلوث المحيط. واخيراً
يجب ان تكون المفاعلات في اماكن نائيه لحمايه الناس من الإشعاعات التي تتسرب من بناء المفاعل. إن نقل الوقود النووي ونفايات المفاعل تعد مخاطرسلامه اضافيه فحوادث نقل الوقود النووي قد تعرض الناس لمستويات مؤذيه من الإشعاع ، إن فحوصات هدم الحاويات المستعمله في نقل الوقود النووي من المتطلبات المهمه التي تقوم بها مؤسسات الطاقه فيجب على مصممي هذه الحاويات ان يثبتو عدم تعرض هذه الحاويه للتمدد حتى في اقصى حالات التصادم وحوادث الطرق .

وبالرغم من كل هذه المخاطر هنالك فوائد عديده في استعمال القدره النوويه فعلى سبيل المثال لا تسبب محطات القدره النوويه اي تلوث للهواء كما تسببها محطات توليد القدره الكهربيه التي تستعمل الوقود الصلب وان تجهيز الارض لنا باليورانيوم اطول عمراً من الوقود الصلب ، وان كل مصدر من مصادر الطاقه سواء كان نووياً او هيدروكهربائي او وقود صلب او رياح او شمس مخاطره وان المخاطر تقاس مقابل الفوائد ووفره مصدر الطاقه .

(4-9) السلاسل الإشعاعيه:

إن جميع النوى التي يزيد عدده الكتلي (A) عن 209 غير مستقره وتخضع للهمليه تفكك من النوع (α) لان القوى الكولونيه تلعب دوراً بارزاً في هذه الحاله وتنتقل بذلك النوى ذات الاعداد الكتليه الاكبر بكثير من 209 إلى الوضع المستقر عن طريق سلسله متلاحقه من التفككات الحاصله من النوع α مما يؤدي إلى زياده نسبه النيوترونات ضمن النواه ، فبعد عده تفككات متتاليه من النوع α تعاني النواه المشعه

من تفكك من النوع β مما يؤدي إلى تحول احد النيوترونات ضمن النواه إلى بروتون في كل تفكك β وفق المعادله:

$$n \xrightarrow{\beta} P + \bar{e} + \overline{Neutrino}$$

حيث $\overline{Neutrino}$ هوجسيم اولى يسمى نظير النوترينو نلاحظ انه لا يحصل اي تغيير في عدد الكتله للنواه المشعه اثناء عمليه تفكك بيتا ولكن العدد ينقص بمقدار اربعه في حاله تفكك الفا وعليه فان الباقي من قسمه A على اربعه يكون نفسه لجميع نوى السلسله لذا يمكن ان نغير عدد الكتله A للسلسله كالاتي:

$$A = 4N + C$$

حيث n تاخذ قيم صحيحه فقط و c عدد ثابت من اجل السلسله . بناء على ذلك يمكن القول مبدئياً انه توجد اربعه سلاسل مشعه قيمه A لكل منها كالاتي:

4n ، 4n+1 ، 4n+2 ، 4n+3 وهي :

اولاً : سلسله الثوريوم(4n)

إن عنصر الثوريوم اطول العناصر عمراً في هذه السلسله حيث ان عمر نصفه $2.01X10^{10}$ year ولذا سميت هذه السلسله باسمه.

إن Th^{232} ينتج عن تفكك اليورانيوم – 238 باصدار اشعه الفا حيث ان دور اليورانيوم المذكور عمر نصفه لا يجاوز 1/5 من عمر الارض لهذا فهو لا يوجد في المنابع المشعه الطبيعيه .

وقد اثبت علم الجيوفيزياء ان اليورانيوم U^{236} كان احد اليورانيوم الطبيعيه عندما كان الكون حديث العهد فعلى سبيل المثال نلاحظ ان فلزات اليورانيوم الصافي كاليشيلند تحتوى على كميات ضئيله من الثوريوم وهذا يتفق مع الفرضيه التي تقول ان هذه الكميات الضئيله تنتج من تفكك اليورانيوم 236 ومن اجل الحصول على هذا النظير لليورانيوم فإن المفاعلات النوويه تستخدم التفاعل النووي التالي:

$$U_{92}^{235} + n_0^1 \rightarrow U_{92}^{236} + \gamma$$

وهذا ما نكتبه احياناً وفق الصيغه :

$$U_{92}^{235}\ (n,\gamma)\ U_{92}^{236}$$

تنتهي أسره الثوريوم بالرصاص Pb^{208} الذي هو عنصر مستقر وكما هو معلوم وتضم هذه السلسله 11 عنصر.

سلسله النبتونيوم(4n+1):

إن اطول العناصر في هذه السلسله هو النبتونيوم N_{93}^{237} الذي لا يتجاوز عمره

$3.25X10^{6}$ year لذلك لا توجد السلسله المذكوره في الطبيعه لان عمرها الزمني قصير جداً قياساً بعمر الارض الذي يقدر بحوالي 10^{10}سنه تقريباً وبالتالي فإن الحصول على عناصر هذه السلسله يتم بالطرق الإصطناعيه حيث تنتهي السلسله بعنصر البزموث Bi_{83}^{209} المستقر وهذه الأسره هي الوحيده التي لا تنتهي بنظائر الرصاص المستقر وتضم 14 عنصراً .

سلسله اليورانيوم (4n+2):

تسمى أيضا بسلسله (يورانيوم – راديوم) وهي اطول سلسله معروفه تبتدئ الاسره بعنصر اليورانيوم الطبيعي U^{238} بعمر نصف قدره $6.52\ X\ 10^{10}$ Yaer وتمر مره اخرى بالعدد الذري Z= 92كنتيجه لتفكك متتالٍ α-β-β وتتبع ذلك تفكك متتالي وحيد من نوعه يتألف من خمسه إنتقالات متتاليه (α) تنتهي هذه السلسله باخف نظائر الرصاص ثقلاً اي بنظير الرصاص Pb_{82}^{206} وتضم 15 عنصراً.

رابعاً : سلسله الأكتينويوم (4n+3)

تبدأ هذه السلسله بعنصر اليورانيوم – 235 النادر الوجود في الطبيعه بعمر نصف قدره $1.02\ x\ 10^{10}$ year ان للعنصر U^{235} شهره كبيره حتى في مجالات تخرج عن نطاق الفيزياء النوويه كونه العنصر الطبيعي الوحيد الذي تنشطر نواته بواسطه النيوترونات البطيئه ، تنتهي السلسله بعنصر الرصاص Pb_{82}^{207} وتضم هذه الأسره 14 عنصراً .

الفصل الخامس

تخصيب اليورانيوم

(1-5)تخصيب اليورانيوم

مقدمه:

تعتمد المفاعلات النوويه على اليورانيوم وهو عنصر معدني صلب لونه فضي إلى ابيض لامع ورمزه الكيميائي u وعدده الذري 92 وكتلته الذريه 238.092 وتعتبر جنوب افريقيا من البلاد الغنيه بهذا العنصر . يعتبر اليورانيوم اكثر العناصر المشعه شيوعاً في قشره الارض وهو يمر بلسلسه من التفاعلات النوويه معطياً جميع العناصر المشعه في الطبيعه حتى ينتهي بعنصر الرصاص ويحدث خلال ذلك تحلل للنيوترونات او البروتونات حتى ينطلق إشعاع كهربي مغناطيسي.

يتكون خام اليورانيوم من عده نظائر اوزانها الذريه 234،235،238 وفي اليورانيوم الخام يوجد النظير 238 بنسبه عاليه تفوق 99.9% وإذا سلط على انويه ذرات هذا النظير تيار بطئ من النيوترونات في المفاعلات الذريه فإن هذه الذرات لا تنشطر وغذا سلط على انويه هذه الذرات تيار سريع من النيوترونات فإن هذه النيوترونات تمتص بواسطه هذه الذرات ويتحول اليورانيوم إلى البلوتونيومpn ووزنه الذري 239.13 وهو عنصر مشع يستعمل كوقود في المفاعلات الذريه والاسلحه النوويه والوزن الذري للبلوتونيوم المستقر هو244 أما اليورانيوم 235 فنسبته ضئيله جداً 0.07% وإذا سلط على انويه ذراته تيار بطئ من النيوترونات فإن هذه الانويه تنشطر وينتج عن ذلك طاقه.

أما النظير 234 فنسبته في الخام تبلغ 0.00059 وليست له اي إستخدامات والواقع ان النسبه الضئيله لتواجد النظير 235 تحول دون توظيفه وعلى ذلك فالنظير 235 هو المطلوب لكن يحول دون ذلك أن توظيفه يقتضي رفع نسبه تواجده إلى 3% والتقنيه التي تتطبق لتحقيق ذلك تسمى تخصيب Enrchment حيث يعامل اليورانيوم بطرق تكنولوجيه مختلفه لكي تزداد من خلالها نسبه النظير 3% او اكثر.

ويوصف هذا اليورانيوم بأنه عالي التخصيب بينما يطلق على اليورانيوم المحتوى على اقل من 0.3% من النظير 235 بأنه منضب أما إذا كان الغرض صناعه قنبله ذريه فإنه يستلزم نحو الف كيلوجرام من اليورانيوم كما أن التخصيب اللازم يستهدف رفع نسبه تواجد النظير 235 إلى 90% ويستخدم في هذه العمليه الطرد المركزي والإنشطار الغازي وهذا يحتاج إلى مستوى تقني عالي ويعتبر من الأسرار المحظوره التداول .

ومن أشهر خامات اليورانيوم خام (البت شيلند) وكان الكيميائي الألماني Martin klaproth إكتشف فيه اليورانيوم عام 1789 وأعطاه إسم يورانيوم الذي كان قد أكتشف منذ 8 سنوات سابقه عام 1781 وتخضع حركه هذا العنصر من دوله إلى دوله إلى رقابه دوليه صارمه وتحصل الدول المعينه بالطاقه الذريه على عنصر اليورانيوم أما عن مناجمها الخاصه او عن طريق الإستيراد من الدول الأخرى وتعتبر استراليا وكندا وروسيا وجنوب افريقيا والبرازيل في مقدمه الدول المصدره لليورانيوم .

(2-5) طرق تخصيب اليورانيوم:

هنالك عده طرق لتخصيب اليورانيوم من ضمن هذه الطرق:

طريقة الانتشار الغازي:

يستفاد من الفرق الطفيف بين كثافتي نظيري اليوراينوم 238 و 235 فيرفع هذا المركب الغازي بواسطه مضخات خلال أغشيه منفذه تحت ضغط معين .

هنا ينفذ النظير الأخف بنسبه اكبر من النظير الأثقل وتكون نتيجه هذه العمليه أن يتركز يورانيوم 235 في إتجاه بينما يورانيوم 238 في الإتجاه الأخر .

كلما زاد عدد الخلايا الغشائيه التي يمر خلالها سادس فلوريد اليورانيوم كلما زادت نسبه اليورانيوم 235 وبالتالي زادت نسبةالاثراء ومن عيوب هذه الطريقه أن العمليه تتطلب أجهزه حديثه ذات كفاءه ودقه عاليتين وهذه العمليه أيضاً تستهلك كميه هائله من الطاقه.

طريقه الطرد المركزي:

في هذه الطريقه يتم إدخال سادس فلوريد اليورانيوم UF_6 إلى جهاز طرد مركزي يدور بسرعه 300-500 دوره/ثانيه حيث يقذف النظير الأثقل U_{92}^{238} نحو الجدار بينما تتجمع جزيئات النظير الأخف U_{92}^{235} في المركزبدفع تيار الغاز الخفيف وذلك بسحبه من

منتصف الإسطوانه إلى جهاز طرد مركزي اخر ليزداد تركيزه بصوره اكبر من سابقتها ومنه إلى ألاف الأسطونات الطارده حيى يصل إلى نسبه التخصيب المطلوبه.

طريقة الفصل الليزري:

تعتمد هذه الطريقة على التركيب الجزيئي الليزري للعناصر بدلاً عن الفرق الكتلي. يستخدم الليزر لإحداث تفاعلات ضوئيه كيميائيه بجزيئات اليورانيوم الطبيعي الموجود في صورته الغازية (UF_6) فالترددات الناشئه عن هذه التفاعلات لجزيئات اليورانيوم 235تختلف قليلاً عن اليورانيوم 238 تعمل حزمه الليزر ذات الشده العاليه على تفكيك جزيئات اليورانيوم 235 وتحويلها إلى ماده اخرى بحيث يكون من السهل فصلها كيميائياً وسحبها بتسليط مجال كهربي .

الطرق الغازية الحركية:

تعتمد هذه الطرق على خواص حركه الغازات وتجد حالياً ثلاث طرق هي طريقه الفوهه التي طورت في ألمانياألإتحاديه وطريقة الهليكون التي طورت في جنوب افريقيا والطريقه الكيميائيه.

طريقه الفوهة:

تتلخص هذه الطريقه بخلط غاز الهيدروجين مع سادس فلوريد اليورانيوم بنسبه % 5 من الاخير ويمرر الخليط عبر إنبعاج إسطواني أثناء حركه الغاز بمحاذاه الجدار الإسطواني يتعرض لنفس قوى الطرد المركزيه المذكوره سابقاً فيتمركز الغاز الثقيل نحو الجدار والخفيف نحو الوسط وعند خروجه يوضع حاجز قرب الجدار ويسحب الغاز المخصب عن الوسط عند تكرار العمليه نستطيع الحصول على التخصيب المطلوب. معامل الفصل هو 1.15 للجهاز التجريبي الحالي تستهلك هذه الطريقه طاقه اكثر من طريقه الإنتشار وهي لاتزال على مستوى مختبري ولم تستعمل على نطاق صناعي بعد ، طورت طريقه تكنولوجيا الفوهه في المانيا الإتحاديه ولا تزال هي الدوله الوحيده المهتمه بتطويرها لغرض تحويلها إلى نطاق صناعي.

طريقه الهليكون :

طورت هذه الطريقه في جنوب افريقيا وهي تعتمد على تمرير خليط من سادس فلوريد اليورانيوم والهيدروجين في منظومه دوامه غازيه والفصل كما في الطريقه السابقه ومعامل الفصل بحدود 1.025 .

الطريقه الكيميائيه:

تعتمد على فرق التوازن لنظائر اليورانيوم في طورين مختلفين (غاز وسائل مثلاً) ويكون احد الطورين ثابتاً والاخر متحركاً وهي تشابه طريقه كبريتد – جردلر لفصل الماء الثقيل وقد طورت في فرنسا واليابان والولايات المتحده .

(3-5) درجات التخصيب :

اليورانيوم العالي التخصيب :

يخصب اليورانيوم إلى درجات مختلفه تصنف حسب درجه التخصيب إلى ما يلي :

يعد اليورانيوم عالي التخصيب إذا تجاوز فيه تركيز اليورانيوم 235 او اليورانيوم 233 نسبه 20% ويكون محتوى اليورانيوم للأغراض العسكريه من اليورانيوم 235 ما مقداره 85% وهو المقدار المستخدم لمرتبه السلاح مع أنه يكفي من أجل السلاح الفج غير المتقن وغير الفعال ما نسبته 20% وهذا لما يعرف باسم السلاح الصالح للإستخدام ويقول البعض بأن نسبه أقل من هذا الحد تبقى صالحه للسلاح ولكن يستدعي عندئذٍ زيادات متسارعه في مقدارالكتله الحرجه وفي حجم القنبله .

اليورانيوم المنخفض التخصيب:

هو اليورانيوم الذي اقل من 20% من اليورانيوم 235 ويكفي على سيبيل المثال الإستخدام في مفاعلات الماء الخفيف (LWR) التجاري التي هي اكثر إنتشاراً بين مفاعلات القدره الكهر بائيه النوويه في العالم (اليورانيوم المخصب إلى حدود 90 (3-5) من اليوانيوم 235) .

في حين يكون تخصيب اليورانيوم الجديد في مفاعلات البحث عاده في حدود 12% إلى 19.95 ودرجه التخصيب الاخيره هذه تستخدم لليورانيوم المستخدم وقوداً للإحلال محل الوقود العالي التخصيب عند التحول من استخدام اليورانيوم العالي التخصيب إلى اليورانيوم المنخفض التخصيب.

اليورانيوم الطفيف: التخصيبيقصد به اليورانيوم الذي يقع فيه تركيز اليورانيوم 235 بين الحدين 9% - 2% وهي مرتبه جديدة في التخصيب تستخدم للحلول محل اليورانيوم

الطبيعي في بعض مفاعلات الماء الثقيل مثل مفاعل (Candy[2]) الكندي وتنخفض لذلك التكلفة لأن المفاعل سيحتاج إلى كميه أقل من اليورانيوم ولتوظيف أموال أقل لتشغيله ولأن هذا بدوره سيقلل كميه الوقود المستخدم بالتالي سيخفض تكاليف إدارة النفايات.

اليورانيوم المعاد استخدامه:

يمكن أن يعد هذا النوع ضرباً من اليورانيوم الطفيف التخصيب لأنه يستخدم في دوره الوقود التي تقوم على الوقود المسترجع من مفاعلات الماء الخفيف فالوقود المستهلك في مفاعلات الماء الخفيف يحوي عاده من اليورانيوم 235 أكثر مما يحويه اليورانيوم الطبيعي منه ولذلك يمكن ان يستخدم لتزويد المفاعلات بالوقود.

(4-5) تحولات الوقود:

يتم في هذه الحالة تحويل اليورانيوم إليالصورة الكيميائية التي سيدخل بها إلي المفاعل لكي يتحمل تأثير الإشعاع وفي نفس الوقت يسهل تشكيله وقد وجد أنأكثر صورة كيميائية هو ثاني أكسيد اليورانيوم Uo2 وهو مسحوق اسود يحتوي علي حوالي 88% يورانيوم وكثافته حوالي 11جم للسنتمتر المكعب ودرجة انصهاره 2800 درجة مئوية ومنه هذه التحولات للوقود نذكر:

أولاً: تحويل الثوريوم إلى يورانيوم U^{233}.

يمكننا أن نذكر الثوريوم 232 كأحد مصادر الوقود النووي لجانب اليورانيوم، فالبرغم من أنه غير قابل للإنشطار هو نفسه لكن يمكن تحويله إلى نظير اليورانيوم U^{233}بالتفاعل النووي التالي:

$$Th_{90}^{232} + n_0^1 \rightarrow Th_{90}^{233} \rightarrow pa_{91}^{233} + \bar{e}$$

$$\downarrow \rightarrow U_{92}^{233} + \bar{e}$$

وهذا يعني اقتناص الصوديوم لنيترون وتحويله إلى ثوديوم 233 عمر نصفه 22 دقيقة فإنه يتحلل سريعاً إلى بوتالتنيوم 233 يفقد جسيم الفا (α) وزيادة عدد البروتونات في النواة إلى 91 وهذا الاخير عمر يضفه 27.4يوماً ويتحلل أيضاً ويفقدان جسيم بين

اليورانيوم 233 الذي عمره نضفة 16000 سنة وقابل للإنشطار مثل البلوتونيوم 239 واليورانيوم 235.

ثانياً: تحويل اليورانيوم إلى ثوريوم:

تعتبر خاصية اقتناص النيوترونات ذات قيمة كبيرة من ناحية وقدرة الوقود النووي، فاقتناص اليورانيوم 238 للنيوترونات المنطلقة من إنشطار نظيره يحوله إلى عنصر جديد غير موجود في الطبيعة رقمه الذري 94 ورقم كتلته 239 واسمه البلوتونيوم Plutonium وقد تنبأت الحسابات النظرية بأن العنصر سيكون له قابلية للانشطارأكثر من اليوانيوم 235 وأن كتلته الحرجة أصغر منه أيضاً، وقد تم توقع الحصول إلى العنصر نظرياً ثم تم الوصول إليه فعلاً في بعض المفاعلات الخاصة التي بنيت خصيصاً لذلك في أواخر سنوات الحرب العالمية الثانية فقد صممت القنبلة الذرية التي القيت نجاز في 9 اغسطس 1945 من حوالي 8 كيلو جرامات من البلوتونيوموسيتحلق البلوتونيوم من اليورانيوم U^{238} حسب التفاعل النووي التالي:

$$U_{92}^{238} + n_0^1 \rightarrow U_{92}^{239} \rightarrow Np_{93}^{239} + \bar{e}$$

$$\downarrow \rightarrow pu_{94}^{239} + \bar{e}$$

ويتم هذا التفاعل على ثلاثة خطوات حيث يقتنص U^{238} نيوترون ويتجول إلى نظير اليورانيوم 239 وهو غير مستقر وعمر النصف له 23 دقيقة، ولذلك يتحلل بسرعة يفقد جسيم الفا (α) إلى نبتونيوم 239وهو أيضاً عنصر غير مستقر وعمر نصفه 2.5 يوماً ويتحلل بسرعة بفقدان جسيم الفا أحد ويتحول إلى بلوتونيوم 239 غير المستقر أيضاً ولكن عمر نصفه 243 سنة ولذلك يمكن استخلاصه من الوقود المستفيد واستخدامه كوقود جديد أو المقتحم نووي أفضل بكثير من اليورانيوم U_{92}^{235}

مقارنة بين يورانيوم 235 مع بلوتونيوم – 239:

إذا قارنا بين U^{235} مع Pu^{239} نجد أن البلوتونيوم أجدى كوقود من اليورانيوم– 235 وذلك للأسباب التالية:

1- البلوتونيوم يسهل فصله كيميائياً وذلك عكس اليورانيوم والذي لا يمكن فصله إلا طبيعياً وبتكلفة عالية جداً.

2- البلوتونيوم عندما عندما يشع جسيم الفا فإنه يتحول إلى يورانيوم 235 ولكن هذه العملية تتم في زمن طويل جداً مقارنة بعمر المفاعل.
3- كفاءة البلوتونيون كوقود أكبر من اليورانيوم و كذلك الطاقة الناتجة.

الخاتمة

إن البحث الذي قام يعتبر مساهمة في معالجة موضوع الطاقة النووية لأنه تناول موضوع تخصيب اليورانيوم الذي يشكل عقبه كبيرة في موضوع صناعة الطاقة والبحث أعطى تعريفاً ومعالجة عن كيفية تخصيب اليورانيوم والمفاعلات.

وكيف يحدث وحتى لا ترسخ في أذهان الناس أن المفاعلات النووية هي الحرب والدمار والضرر علينا نحن الفيزيائيون أن نرسخ لاستخداماتها السليمة والمفيدة جداً في أذهان المختصين في كل مجال وثبت لهم جداواها واقتصاديتها وسهولة تطبيقها وأمان ومضارها.

المراجع:

1- عذاب طاهر الكتاني، الفيزياء النووية والطبية، دار الفجر للنشر والتوزيع ، القاهرة ، مصر، الطبعة الأول، 2009م.
2- محمد شهادة الدغمة، الفيزياء النووية، مكتبة الفلاح، للنشر والتوزيع، الأمارات العربية المتحدة، ط1، 2000م.
3- خضر عبد العباس، غسان هاشم الخطيب، الطاقة، الذرية واستخداماتها، ط2، 1989م.
4- أحمد الناغي، محمد نبيل ياسين البكري، الفيزياء النووية، دار الفكر العربي، مصر، 2008م.
5- على حاجي عويس، مبادئ أساسية في فيزياء الذرة والنواة، دار الأندلس، للنشر، والتوزيع ، 2006م.
6- منير علي الجنروري، الوقود الحيوي ومصادر الطاقة المتجددة، دار الفكر العربي، مصر القاهرة، 2008م.
7- محمد عبدالرحمن ال الشيخ وآخرون، هندسية، الإشعاع النووي النشر العلمي والطابع، جامعة الملك سعود، المملكة العربية السعودية.
8- هزاع جناد، السلاسل الإشعائية.
9- كليموني، ترجمة مجدي، مصطفى إمام، الفيزياء النووي، والتفاعلات النووية والتفاعلات النووية، دار ميدر للطباعة والنشر، موسكو الاتحاد السوفيتي.
10- غازي ياسين القيسي، أساسيات الفيزياء الحديثة دار المسيرة، عمان.
11- علاء هاشم مناف، نسبية الزمكان، في هندسة الفيزياء النووية مؤسسة دار الصادق الثقافية.
12- منصور محمد حسب النبي، عجائب الإشعاع الذري والطاقة النووية، مكتبة النهضة المصرية عين شمس.

13- خضر عبدالعباس حمزة، غسان هاشم الخطيب الطاقة الذرية واستخداماتها، منشورات منظمة الطاقة الذرية العراقية.