الفصل الأول

المقدمة

المفاعل النووي هو جهاز تبدأ فيه سلسلة من التفاعلات النووية ويتم التحكم فيها وتستمر في حالة استقرار والاستخدام الأكثر وضوحاً للمفاعلات النووية هو استخدامها كمصدر طاقة لتوليد الكهرباء وهذه التفاعلات المسيطرة عليها أما ان تكون تفاعلات انشطار نووى (مفاعلات الانشطار النووي) او تفاعلات اندماج نووى (مفاعلات الاندماج النووي).

حيث نجد أن اعمار المفاعلات الانشطاريه بين 20 الي 30 عاماً تصبح بعدها غير صالحة للاستعمال الي الابد وتصبح أجزاء المفاعل جميعها ملوثه بالاشعه وكذلك المنقطة المحيطه، بالإضافة الي انها عرضه للتخريب.

من جانب آخر نلاحظ ان المفاعلات الاندماجيه تتميز بانها تستخدم وقوداً رخيصا وفي حالة نجاح المفاعلات الاندماجية على المستوى التجاري نجد ان الطاقة الناتجة كبيره بالمقارنة مع المفاعلات الانشطارية.

1.1 مشكلة البحث:

تشكل مفاعلات الاندماج النووي البديل الثاني الرئيسي لمفاعلات الانشطار النووي كمصدر للطاقة وتعتبر مفاعلات الاندماج النووي امل الانسانيه في الحصول على طاقة لا تنضب ورخيصه والطاقة الناتجه هائلة بالمقارنة مع الطاقة الكيميائية وأيضا حتى بالمقارنة مع طاقة الانشطار النووي ولكن لإنتاج كميات كبيره من الطاقة بواسطة الاندماج النووي يجب تسخين وقود الاندماج الي درجات حرارة عاليه جداً بحيث يتحول الوقود الي بلازما ويجب احتواء البلازما لفترة كافية من الزمن بينما في المقابل نجد ان المفاعلات الانشطارية النووية لا تحتاج الي تسخين الوقود بحيث يتحول الي بلازما ولكن ينتج عنها مخلفات اشعاعيه ضارة وتكمن المشكلة في كيفية التخلص منها لذلك نحتاج الي دراسة مقارنة بين المفاعلات الانشطارية والمفاعلات الاندماجيه لكي نتعرف على إيجابيات وسلبيات كل من هذين المفاعلين.

1.2 أهداف البحث:

- عمل دراسة مقارنة بين المفاعلات النووية الانشطارية والمفاعلات النووية الاندماجيه.
- بيان الحلول والمعالجات الممكنة للتغلب على سلبيات كل من هذين المفاعلين.

1.3 طريقة البحث:

هذا البحث عبارة عن دراسة نظرية تهدف الي المقارنة بين المفاعلات النوويه الاندماجيه والانشطاريه مع استعراض إيجابيات وسلبيات كل واحد منهما.

1.4 الأعمال السابقة:

- قام مهدي أحمد العبيد جار النبي، 2005م، بدراسة مقارنة عن المفاعلات النووية، الاستخدامات، المخاطر والمعالجات. ووجد ان المفاعلات النووية تختلف من حيث الغرض الذي أنشأت من اجله فمنها ما انشأ لغرض انتاج طاقة حرارية هائلة واستخدامها في انتاج الكهرباء وغيرها. والغرض الثاني انتاج نظائر مشعه وكذلك أشار الي متابعة الأضرار الناتجه عن المفاعلات النووية ومعالجتها بدقة[1] .
- قام أحمد الحسن الفكي، 1999م، بدراسة مقارنة بين المفاعل النووي السريع والمفاعل النووي الحراري، ووضح ان المفاعلات السريعة افضل من المفاعلات الحرارية وذلك لان المفاعلات السريعة صغيره الحجم وتستعمل وقوداً منتجاً في الأساس من المفاعلات الحرارية [2].
- قامت تيسير محي الدين المهدي، 1999م، بدراسة تكنولوجيا التحكم بالاندماج النووي، بينت أن مفاعلات الانشطار يمكن ان تعمل لمدة ثلاثين عاماً على الأقل وانه لا بد من مصادر جديده لتوليد الكهرباء تحل محل مفاعلات الانشطار وهذه المصادر هي مفاعلات الاندماج النووي. وان الحصول على الاندماج النووي عملية صعبه ومعقده [3].

1.5 محتوى البحث:

يشتمل هذا البحث على خمسة فصول، الفصل الأول عبارة عن المقدمة، أما الفصل الثاني يتناول تفاعل الانشطار النووي، الفصل الثالث يشمل مفاعلات الانشطار النووي، الفصل الرابع مفاعلات الاندماج النووي، واخيراً الفصل الخامس فيضم المناقشة والخاتمة والتوصيات والمصادر والمراجع.

الفصل الثاني

تفاعلات الإنشطارالنووي

كان العالم فيرمي يجري تجاربه للحصول على نظائر العناصر وذلك عن طريق قذف اليورانيوم بالنيوترونات. كان يتوقع الحصول على نواة غير مستقرة تبعث بجسيمات بيتا فيزداد العدد الذري من 92 إلي 93 وإنتاج عنصر جديد في الجدول الدوري لكنه لم يستطع التعرف على نواتج التفاعل.

قام العالم الألماني نوداك بقذف عنصر اليورانيوم بالنيوترونات فتعرف على نواتج التفاعل، وأوضح ان نواة اليورانيوم انشطرت الي نواتين متوسطتي الكتلة تعرف بشظيتي الإنشطار Fission Fragments وكذلك انتاج كمية هائلة من الطاقة وتم التعرف على الإنشطار النووي [4].

يمكن ان تنشطر بعض الأنوية الثقيلة تلقائياً الي نواتين متوسطتين ويعرف هذا الإنشطار بالإنشطار التلقائي Spontaneous Fission وغالباً ما تكون شظايا الانشطار مختلفة الكتل حيث يمكن ان ينتج العديد منها، ويمكن ان تنتج شظيتان متساويتا الكتلة وفي هذه الحالة يعرف الانشطار بالانشطار المتماثل symmetric Fission.

وغالباً ما تكون هذه الشظايا في حالات إثارة حيث تبدأ في إطلاق الاشعاع فور تكونها، وهي غالباً ما تكون غنية بالنيوترونات ومن ثم تقوم بإطلاق نيوترونات لحظية وأشعة γ لحظية كما يمكن ان تنطلق جسيمات β.

يمكن تمثيل الإنشطار النووي لليورانيوم بصورة عامة بالمعادلة الآتية:

$$n^1 + U_{92}^{235} = Y + y + n_0^1 + Q \qquad (2.1)$$

Q = الطاقة الناتجة عن الإنشطار. [4]

U_{92}^{235} = نواة ذرة اليورانيوم – 235

Y,y = شظايا الانشطار

n^1 = عدد النيوترونات

2.1 نظرية الإنشطار النووي:

ليس هناك نظرية كاملة لتصف الإنشطار النووي ولكن يمكن تفسير الكثير من خصائص هذا الانشطار على ضوء نموذج القطرة السائلة

في ضوء نموذج القطرة السائلة نجد أن النواة تأخذ شكلا كروياً عندما تكون في مستوى الاستقرار الأرضي. وتأخذ النواة هذا الشكل تحت تأثر قوة التوتر السطحي لها، ولكن قوة التنافر بين البروتونات تحاول احداث تشويه للشكل الكروي للنواة.

طاقة النواة الكلية تنقسم إلي هذين التأثيرين أي أن:

$$E = 4\pi R^2 K + \frac{3Z^2 e^2}{5\times 4\pi\epsilon_0 R} \qquad (2.2)$$

حيث K= معامل التوتر السطحي

ϵ_0 = سماحية الفراغ

R= نصف قطر النواة

Z= عددها الذري.

يمثل الحد الأول في هذه المعادلة طاقة التوتر السطحي. أما الحد الثاني فيمثل طاقة التنافر الكهربي مع ملاحظة أننا أضفنا هذا المقدار $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ ليعبر عن القوة الكهربية في الفراغ.

وبالتالي فإن النواة تقع تحت تأثير هذين الحدين حيث تحاول قوة التوتر السطحي أن تحافظ على الشكل الكروي واستقرار النواة اما قوة التنافر الكهربي فتحاول تمزيق النواة، أما اذا أثيرت النواة بإعطائها طاقة عن طريق قذفها بجسيم نووي فإن ذلك يعمل على تشوية شكلها عن الشكل الكروي، ومن ثم تصبح النواة في مستويات إثارة معينة، فاذا كانت النواة متماثلة حول محور معين فان شكلها يمكن ان يوصف بالعلاقة:

$$R = R_0[1 + \alpha_2 Y_2^2(\theta) + \alpha_4 Y_4^2 + \cdots] \qquad (2.3)$$

حيث α_2 , α_4 معاملات التشويه التي تعتمد على درجة تشويه النواة.

R_0= نصف قطر النواة الكروية

R= نصف قطر النواة المشوهة

Y= متعددة حدود ليجندر.

في الأنوية الخفيفة نجد أن قوة التنافر الكهربية صغيره حيث تزداد قوة التوتر السطحي والقوة النووية وتصبح النواة كروية الشكل. أما في الانوية الثقيلة جداً فإن كبر حجم النواة يؤدي الي زيادة قوة التنافر الكهربي ومن ثم تستطيع هذه القوة التغلب على قوة التوتر السطحي مما ينتج عنه انقسام او انشطار النواة.

حيث نجد أن النواة يمكنها ان تنشطر تلقائياً إذا كانت طاقة التوتر السطحي لها أقل من أو تساوي طاقة التنافر الكهربي.

ويمكن إيجاد الشرط اللازم لذلك كما يلي:

تعطى طاقة التوتر السطحي (E_s) للنواة المشوهه بالعلاقة:

$$E_s \approx E_s^o \left(1 + \frac{2}{3}\alpha_2^2\right) \qquad (2.4)$$

حيث E_s^o طاقة التوتر السطحي للنواة الكروية

α_2^2 معامل التشوه

أما طاقة التنافر الكهربي E_c فتعطى بالعلاقة:

$$E_c \approx E_c^o \left(1 - \frac{\alpha_2^2}{5}\right) \qquad (2.5)$$

حيث E_c طاقة تنافر النواة الكروية

من المعادلتين السابقتين يمكن إيجاد طاقة التشوه ΔV حيث:

$$\Delta V = (E_s - E_s^o) + (E_c - E_c^0) \qquad (2.6)$$

أي أن

$$\Delta V = \frac{\alpha_2^2}{5}(2E_s^o - E_c^o) \qquad (2.7)$$

تبين هذه المعادلة أن القطرة السائلة ستكون مستقرة إذا كان

$$2E_s > E_c^o \qquad (2.8)$$

ويمكن تعريف معامل الإنشطار *(x)* حيث

$$X = \frac{E_C^O}{2E_S^O} \qquad (2.9)$$

ومن ثم فإن:

أ- إذا كانت: $X>1$ فإن النواة ستنشطر.

ب- اذا كانت: $X<1$ فإن النواة ستكون مستقرة.

ويمكن حساب X من العلاقات الأساسية لنموذج القطرة السائلة حيسث نجد أن:

$$E_c^o = \frac{3}{5}\frac{Z^2 e^2}{R_0} \qquad (2.10)$$

وبالتعويض عن قيمة الثوابت نجد أن

$$E_c^o = 0.711 \frac{Z^2}{A^{\frac{1}{3}}}\ Mev \qquad (2.11)$$

أما طاقة التوتر السطحي E_S فانها تعطى بالعلاقة:

$$E_S = 17.8\, A^{\frac{2}{3}}\, Mev \qquad (2.12)$$

من المعادلتين (*2.11*), (*2.12*) وبالتعويض في المعادلة (1-8) نجد أن:

$$X = \frac{Z^2/A}{50.13} \qquad (2.13)$$

وبالتالي فان هذه المعادلة تمثل شرط حدوث الإنشطار النووي التلقائي للأنوية فإذا كانت:

$$\frac{Z^2}{A} > 50.13 \qquad (2.14)$$

فإن ذلك يعني أن النواة سوف تنشطر تلقائيا *Spontaneously* [5].

2.2 حاجز الإنشطار Fission Barrier:

غالباً ما يحدث الإنشطار النووي عندما تقذف نواة بالنيوترونات البطيئة أو السريعة ولكن وجد ان بعض الانوية تنشطر عند قذفها بنيوترون حراري وأخرى لا تنشطر إلا عند قذفها بنيوترون سريع، ومن

هنا نفترض وجود حاجز لإنشطار ولنفرض ان كرتين متماثلتين مشحونتين بشحنتين موجبتين لكي تقترب من بعضهما لابد من بذل شغل "طاقة" تساوي طاقة كولوم E_b حيث:

$$E_b = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Z_1 Z_2 e^2}{R_1+R_2} \qquad (2.15)$$

حيث Z_1, Z_2 شحنتي شظيتي الإنشطار.

R_1, R_2 نصفي قطريهما.

فإذا كان الإنشطار متماثلاً أي أن:

$$Z_1 = Z_2 = \frac{Z}{2} \quad , \quad A_1 = A_2 = \frac{A}{2} \quad , \quad R = r_o A^{\frac{1}{3}} \qquad (2.16)$$

حيث A,Z العدد الذري وعدد الكتلة للنواة الأم المنشطرة وينتج أن

$$E_b = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\frac{Z^2 e^2}{8\, r_0\left(\frac{A}{2}\right)^{\frac{1}{3}}} \qquad (2.17)$$

وبالتعويض عن الثوابت في هذه المعادلة فانه يمكن استنتاج أن:

$$E_b = \frac{0.19Z^2}{A^{\frac{1}{3}}}\ Mev \qquad (2.18)$$

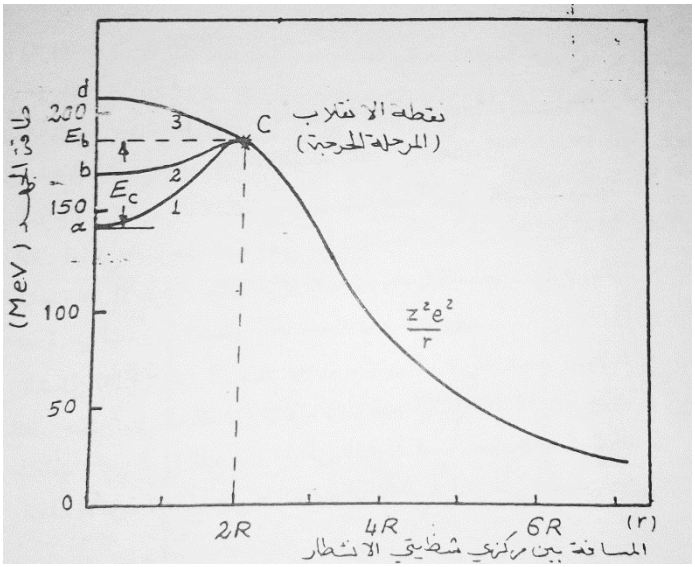
وفي حالة انشطار نواة ثقيلة كاليورانيوم $(A=235)$ فإن:

$$E_b = 260\ Mev \qquad (2.19)$$

تمثل E_b حاجز كولوم الذي يجب أن تتغلب عليه شظية الإنشطار كي تنطلق كناتج من نواتج الإنشطار النووي، وعند النظر الي الشكل (2.1) الذي يمثل طاقة جهد النواة الممثلة بقطرة سائلة كدالة في المسافة الفاصلة بين مركزي شظيتي الانشطار.

عندما تصل النواة الي هذه المرحلة فان قوة التوتر السطحي لا تستطيع استعادة الشكل الكروي للنواة وتصبح اضعف من قوة التنافر الكهربي التي تعمل على تشويه النواة وهنا لا تجد النواة مناص من الانشطار. هذه

المرحلة تسمى المرحلة الحرجة *Critical Stage* والنقطة التي تمثلها على منحى الطاقة تعرف بنقطة الإنقلاب *Saddle point*.



شكل (2.1) طاقة جهد نواة مشوهه وشظيتي الإنشطار كدالة في المسافة الفاصلة بين مركزي شظيتي الإنشطار[5].

في الشكل نجد أن هناك ثلاثة حالات 1,2,3 عندما تكون r أقل من $2R$ حيث تمثل الحالة (1) الأنوية ذات عدد الكتلة $A \approx 100$ حيث نجد طاقة هذه الانوية تقع عند حوالي *50 Mev* تحت طاقة كولوم لكي تتمكن من الإنشطار. اما في الحالة (2) فإن هذه الانوية ذات طاقات تقع عند حوالي *6 Mev* تحت طاقة كولوم وبالتالي من السهل إثارة مثل هذه الانوية عند قذفها بنيوترون حراري، تمثل هذه الأنوية مجموعة الأنوية الثقيلة *Th, U, Pu* تسمى الطاقة التي يجب أن تزود بها النواة كي تتمكن من الإنشطار بطاقة التنشيط *Activation Energy* أو الطاقة الحرجة *Critical Energy* ونرمز لها بالرمز E_c. ويمكن للنواة ان تحصل على هذه الطاقة عند قذفها بالنيوترونات. حيث تتكون النواة المركبة التي غالباً ما تكون مثارة، فإذا كانت طاقة الإثارة الناتجة اكبر من الطاقة الحرجة فان النواة المركبة ستنشطر، اما الحالة (3) فتمثل تلك الانوية التي يمكنها الانشطار تلقائياً حيث نجد ان طاقة جهد هذه الانوية اكبر من طاقة حاجز كولوم وهذه الانوية هي التي تحقق العلاقة (2.13)[5].

2.3 النيوترونات وأشعة γ الناتجة عن الإنشطار:

تنشطر النواة عندما تكون مثارة وغير مستقرة وغالباً ما تكون أمثال هذه الأنوية غنية بالنيوترونات أي ان $\frac{N}{Z} > 1$ مثل U^{236} الناتجة عند قذف يورانيوم – 235 بالنيوترونات وحيث أن هذه النواة ستنشطر الي نواتين أصغر منها فان نسبة $\frac{N}{Z}$ لهاتين النواتين ستساوي غالبا نسبة $\frac{N}{Z}$ للنواة الأم.

وبالتالي فهي أنوية غير مستقرة أي مشعة تقوم باطلاق الجسيمات النووية فور تكونها للوصول الي خط الاستقرار.

عندما تقوم النواة المركبة بالانشطار الي شظيتين فان كلا منهما غالبا ما تكون مثارة بطاقة عالية تصل الي $6Mev$ او 8 ، حيث أن كلاً من هاتين الشظيتين غنية بالنيوترونات وان طاقة ترابط النيوترون في النواة تساوي حوالي $7Mev$ فإن هذه الشظايا غالباً ما تنطلق منها نيوترونات تسمى النيوترونات اللحظية وذلك خلال فترة زمنية قصيرة جداً تقع في حدود 10^{-14} ثانية. وقد وجد ان النيوترونات المنطلقة في الانشطار النووي تنقسم الي قسمين:

أ- نيوترونات لحظية *Prompt*.

ب- نيوترونات متأخرة *Delayed*.

2.4 الناتج النيوتروني (η) (Neutron Yield):

من المناسب أحياناً تعريف كمية تعرف بالناتج أو المنتج النيوتروني وهو عدد النيوترونات الكلية الناتجة عن إمتصاص نيوترون بواسطة المواد الانشطارية في المفاعل، وتلعب هذه الكمية دوراً حيوياً في تصميم المفاعلات النووية الإنتاجية.

2.5 مساحة مقطع الإنشطار Fission cross-section :

يمكن لبعض الأنوية ان تنشطر عند قذفها بالنيوترونات أياً كانت طاقتها وهذه المواد تعرف بالمواد الانشطارية *Fissile* مثل $Pu^{239}, U^{233}, U^{235}$ كما أن هناك مواد يمكن أن تنشطر عند قذفها بالنيوترونات السريعة تعرف بالمواد القابلة للإنشطار *Fissionable* مثل U^{238}.

عندما يسقط النيوترون على مادة ما فإن هناك تفاعلين رئيسيين ينالان الاهتمام من وجهة نظر تصميم مفاعل نووي وهما تفاعلي الأسر الاشعاعي أو تفاعل (n,γ)، حيث يمتص النيوترون الساقط وتثار النواة مما

يجعلها تطلق أشعة γ بعد ذلك. اما التفاعل الآخر فهو الانشطار النووي أي تفاعل *(n,F)*، ويعتمد كل من هذين التفاعلين على نوع المادة وطاقة النيوترونات وغير ذلك من العوامل.

2.6 الطاقة الناتجة عن الإنشطار:

يعتبر تفاعل الإنشطار النووي مصدراً مهماً للطاقة وتقدر الطاقة الناتجة عن الانشطار بحوالي *200Mev* لكل إنشطار نووي، لنأخذ إنشطار U^{235} عند قذفه بالنيوترونات الحرارية على سبيل المثال، حيث تنشطر هذه النواة الي الباريوم والكريبتون حسب العلاقة:

$$n_0^1 + U_{92}^{235} \rightarrow Ba_{56}^{141} + Kr_{36}^{92} + 3n_0^1 + Q \qquad (2.20)$$

ويمكن تقدير طاقة التفاعل Q بإستخدام معادلة اينشتاين المشهورة $E = mc^2$ وباستعمال وحدة *(Mev)* ووحدة الكتل الذرية *(amu)* ونحصل عليها كالآتي:

$$Q(Mev) = 931.48 \times \Delta m\ (amu) \qquad (2.21)$$

حيث Δm نحصل عليها كالآتي:

$$\Delta m = (M_n + M_u) - (M_{Ba} + M_{Kr} + 3M_n) \qquad (2.22)$$

2.7 أنواع الإنشطار النووي:

هناك عدة طرق لإثارة نواة ما بحيث تكون هذه الطاقة كافية لإنشطارها ومن ثم حدوث الإنشطار النووي وهذه الطرق هي:

2.7.1 الإنشطار الحراري Thermal Fission:

يمكن للنيوترونات الحرارية أن تسبب انشطاراً لبعض الأنوية عند قذفها بهذه النيوترونات مثل U^{235} , Pu^{239}. حيث تعرف هذه الأنوية بالأنوية الإنشطارية ويعرف الإنشطار الناتج عن النيوترونات الحرارية بالانشطار الحراري.

2.7.2 الإنشطار السريع Fast Fission:

يمكن هنا لبعض الأنوية الإنشطار عند قذفها بنيوترون سريع كما يحدث لليورانيوم – 238 إذ يمكن لهذا النظير الانشطار عند قذفه بنيوترونات تبلغ طاقتها مليون إلكترون فولت أو يزيد.

2.7.3 الإنشطار بواسطة الجسيمات المشحونة:

يعتبر الانشطار من الناحية النظرية ممكن الحدوث عند قذف نواة ما بجسيمات مشحونة وقد وجد انه يمكن ان تنشطر الانوية متوسطة الكتلة عند قذفها بالبروتونات، مثال لذلك عندما تقذف أنوية النحاس-63 بالبروتونات (طاقة تبلغ *50 Mev* على الأقل) فإنها تنشطر الي الكلور والألمينيوم حسب العلاقة:

$$p_1^1 + Cu_{29}^{63} \rightarrow Cl_{17}^{38} + Al_{13}^{25} + n_0^1 \qquad (2.23)$$

كما ويمكن أن تنشطر الي الصوديوم والبوتاسيوم حسب العلاقة:

$$p_1^1 + Cu_{29}^{63} \rightarrow K_{19}^{39} + Na_{11}^{24} + n_0^1 \qquad (2.24)$$

2.7.4 الإنشطار الثلاثي Ternary Fission:

ليس هناك ما يمنع النواة المركبة من انشطارها الي ثلاث شظايا بدلاً من إثنين لقد وجد انه عند قذف نواة يورانيوم – 235 بالنيوترونات البطيئة فإن هناك 3-4 انشطاراً ثلاثاً من مجموع 10^6 من الانشطارات الثنائية، كما وجد انه هناك إمكانية انطلاق شظيتا انشطار بالإضافة الي جسيم ثالث عبارة عن جسيمات ألفا عالية الطاقة (بطاقة متوسطة قدرها حوالي *Mev* 15) كما ويمكن ان ينطلق التريتيوم (H_1^3) أو الهيدروجين الثقيل.

كما دلت بعض الأبحاث على إمكانية انطلاق جسيمات تتراوح اعدادها الكتلية بين 4 و 12 بالإضافة الي شظيتي الانشطار. حيث وجد ان احتمال هذا التفاعل اكبر من الانشطار الثلاثي.

2.7.5 الإنشطار الضوئي Photo Fission:

يمكن لنواة ان تنشطر اذا أثيرت بطاقة كافية عن طريق قذفها بالفوتونات العالية الطاقة او باشعة γ او أشعة X، كما موضح في الجدول (2.1).

الجدول (2.1) يوضح أقل طاقة للفوتونات للازمة لإنشطار بعض الأنوية المعروفة.

النواة	أقل طاقة للفوتونات *Mev*
ثوريوم – 230	5.40
يورانيوم – 233	5.18
يورانيوم – 235	5.31

يورانيوم – 238	5.08
بلوتونيوم – 239	5.31

2.7.6 الإنشطار التلقائيSpontaneous Fission:

يمكن أن تنشطر بعض الأنوية الثقيلة تلقائياً الي نواتين متوسطتين وتعرف هذه الأنوية الثقيلة بعناصر ما بعد اليورانيوم *Transuranic elements* وهي العناصر ذات الأعداد الذرية الأكبر من العدد الذري لليورانيوم *(Z>92)* [5].

الفصل الثالث

المفاعلات الإنشطارية النووية

3.1 التفاعل المتسلسل:

يحدث التفاعل المتسلسل عندما تقوم النيوترونات الخارجه من الانشطار بشطر نوى ذرات أخرى من اليورانيوم فتخرج نيوترونات جديدة تصطدم بدورها في نويات أخرى من اليورانيوم وهكذا يزداد عدد النوى المنشطرة زيادة كبيرة في وقت قصير جداً.

هناك مشكلتان أساسيتان قابلت العلماء لإتمام التفاعل المتسلسل في اليورانيوم الطبيعي يمكن تلخيصهما فيما يلي:

1. كمية اليورانيوم 235 في اليورانيوم الطبيعي ضئيلة بالنسبة لنظيره يورانيوم 238 وذلك بنسبة 140:1.
2. النيوترونات الناتجة عن عملية الانشطار U^{235} تكون سريعة وتصل طاقتها الي مليون إلكترون فولت ولذا يقوم U^{238} بأسر معظمها فلا يتم التفاعل المتسلسل.

وللتغلب على هذه المشاكل فكر العلماء فيما يأتي:

1. زيادة نسبة U^{235} في عملية تسمى بالتخصيب *Enrichment*.
2. إبطاء سرعة النيوترونات وذلك عن طريق تصادمها مع مادة لها وزن ذري صغير مثل الكربون أو الماء وبذلك تفقد النيوترونات جزءاً كبيراً من الطاقة حيث تصل طاقتها الي الطاقة الحرارية أقل من ($0.1ev$) التي تكون فيها إتزان حراري مع الوسط. عندئذ تكون النيوترونات قادرة على احداث انشطار لنواة U^{235}.
3. الإبقاء على النيوترونات الناتجة من الانشطار حتى لا تتسرب خارج كتلة اليورانيوم ويستمر التفاعل المتسلسل ويعرف حجم اليورانيوم اللازم لذلك بالحجم الحرج *Critical Size*[6].

3.2 دورة النيوترونات في التفاعل الإنشطاري:

في دورة النيوترونات، تتعرض النيوترونات المولدة من الانشطار النووي الي عوامل كثيرة تقلل من عددها مثل الامتصاص في مواد المفاعل او التسرب خارجه. فإذا كانت النيوترونات الناتجة تساوي النيوترونات المتبقية اصبح المفاعل حرجاً ويستمر التفاعل الانشطاري بلا زيادة ولا نقصان وتسمى كتلة

اليورانيوم في هذه الحالة بالكتلة الحرجة للمفاعل، أما إذا زاد عدد النيوترونات المتبقي بعد الفقدان في الامتصاص والتسرب عن عدد النيوترونات الناتج من الانشطار فيسمى التفاعل في هذه الحالة بالتفاعل المتسلسل المتزايد وتكون كتلة اليورانيوم (فوق الحرجة).

ومن هذا المنطلق يتم التحكم في المفاعل عن طريق التحكم في دورة النيوترونات أي في عدد النيوترونات المنتجة او المفقودة بالتسرب او الامتصاص. وفي معظم المفاعلات يتم التحكم في المفاعل بواسطة قضبان التحكم المصنوعة من مواد لها قابلية كبيرة لإمتصاص النيوترون مثل البورون والكادميوم. فاذا زجت القضبان داخل المفاعل امتصت النيوترونات في الحال وبالتالي يصل التفاعل المتسلسل الي الوضع الحرج أو توقفه كلية.

ومن الممكن أيضاً التحكم في المفاعل بإضافة الوقود او إخراجه من قلب المفاعل أي بالتحكم في معدل التفاعل الانشطاري، كما يمكن التحكم في المفاعل بوضع عواكس للنيوترونات حول قلب المفاعل لتعكس النيوترونات ثانية وبالتالي يكون التحكم في مقدار النيوترونات المتسربة خارج المفاعل كما هو الحال في التحكم في مفاعلات الصواريخ النووية.

3.3 معامل التضاعف *(K)*:

عدد النيوترونات يتغير كل لحظة في دورة النيوترونات في المفاعل الحراري ويعتمد ذلك على عدد النيوترونات المنتجة وعدد النيوترونات التي تفقد بالامتصاص وعدد النيوترونات التي تفقد نتيجة التسرب خارج المفاعل. ومن الممكن وصف ذلك بما يسمى بمعامل التضاعف الفعال *Effective multiplication Factor (Keff)* والذي يعرف بانه النسبة بين عدد النيوترونات المنتجة على عدد النيوترونات المفقودة.

$$Keff = \frac{n_p}{n_l} = \frac{n_p}{n_{lk}+n_a} \qquad (3.1)$$

حيث أن:

n_p = عدد النيوترونات المنتجة.

n_l = عدد النيوترونات المفقودة.

n_A = عدد النيوترونات المفقودة بالامتصاص

n_{LK} = عدد النيوترونات المفقودة بالتسرب.

فاذا كان عدد النيوترونات المنتجة مساوياً لعدد النيوترونات المفقودة يكون معامل التضاعف الفعال *Keff* مساوياً الواحد الصحيح.

أي أن *Keff=1* ويكون المفاعل في الحالة الحرجة. وفي هذه الحالة يكون عدد النيوترونات ثابتاً لا يتغير مع الوقت، أما اذا كان عدد النيوترونات المنتجة يزيد عن عدد النيوترونات المفقودة أي ان معامل التضاعف الفعال اكبر من الواحد الصحيح *(Keff>1)* يكون المفاعل فوق الحرج *Super Critical* وفي هذه الحالة يزداد عدد النيوترونات مع الوقت زيادة مطردة.

أما اذا كان عدد النيوترونات المنتجة أقل من عدد النيوترونات المفقودة أي ان معامل التضاعف الفعال اقل من الواحد الصحيح *(Keff<1)* فيقل عدد النيوترونات الي ان يقف التفاعل وفي هذه الحالة يكون المفاعل تحت الحرج *(Subcritical)*.

ولقياس كمية الزيادة في معامل التضاعف بالنسبة الي الحالة الحرجة او كمية نقصان معامل التضاعف تستخدم اصطلاح الفاعليه ويرمز لها بالرمز (ρ)

$$\rho = \frac{\Delta k}{Keff} \qquad (3.2)$$

حيث ان Δk هي زيادة معامل التضاعف او نقصانه من الحالة الحرجة عندما تكون $K=1$ أي ان

$$\Delta k = (Keff - 1) \qquad (3.3)$$

احتمال التسرب والامتصاص النيوتروني في المفاعل:

النيوترونات المفقودة في المفاعل ناتجة عن تسربها خارج المفاعل وامتصاصها داخله ولهذا يمكن كتابة ما يلي:

عدد النيوترونات المفقودة = عدد النيوترونات المتسربة + عدد النيوترونات الممتصة.

$$n_l = n_{lk} + n_A \qquad (3.4)$$

وبالتالي فان نسبة عدد النيوترونات المتسربة أي احتمال التسرب هو$\frac{n_{LK}}{n_L}$ وبالمثل احتمال الامتصاص هو: n_A/n_L.

ونظراً لان الفقدان لا يكون الا بالتسرب او الامتصاص فان احتمال امتصاص النيوترونات يمكن التعبير عنه ايضاً بانه احتمال عدم التسرب ويرمز له بالرمز (£) *Non-leakage probability* أي أن

$$£ = \frac{n_A}{n_{LK}+n_A} \qquad (3.5)$$

تسرب النيوترونات خارج المفاعل يقل كلما زاد حجم المفاعل وبالتالي اذا كان حجم المفاعل كبيراً جداً فان عدد النيوترونات المتسربة خارجه يكون صغيراً جداً الي ان يكون صفراً في حالة المفاعل اللانهائي، وبالتالي فان معامل التضاعف K_∞ للمفاعل اللانهائي يكون مساوياً لعدد النيوترونات المنتجة مقسوماً على عدد النيوترونات المفقودة بالإمتصاص.

$$K_\infty = \frac{n_p}{n_A} \qquad (3.6)$$

العلاقة بين معامل التضاعف الفعال $Keff$ وعدد النيوترونات المنتجة والمفقودة يمكن كتابتها ايضاً على النحو التالي

$$Keff = \frac{n_A}{n_L} \times \frac{n_p}{n_A} \qquad (3.7)$$

معامل التضاعف الفعال = معامل التضاعف اللانهائي K_∞ مضروباً في احتمال عدم التسرب $\mathcal{L}$

$$K_{eff} = K_\infty \times \mathcal{L} \qquad (3.8)$$

3.4 معامل التضاعف اللانهائي والتعبير عنه بصيغة العوامل الأربعة:

$$K_\infty = \eta \epsilon p f \qquad (3.9)$$

1- العامل الأول η:

η= عامل انشطار ذرات الوقود بالنيوترونات الحرارية

$$\eta = \frac{n_p}{n_{Af}} \qquad (3.10)$$

حيث n_{Af} عدد النيوترونات الممتصة في الوقود.

المعادلة السابقة يمكن كتابتها على النحو التالي:

$$\eta = v\frac{\sum f}{\sum a} \qquad (3.11)$$

حيث v عدد النيوترونات المنتجة لكل انشطار نووي.

$\sum f = N\sigma_f$ مقطع الانشطار الماكروسكوبي

$\sum a = N\sigma_a$ مقطع الامتصاص الماكروسكوبي للوقود.

ووحدة كل منهما هي سم$^{-1}$

N= عدد الذرات في وحدة الحجوم ووحدتها ذرة/سم^3

σ_f= مقطع الانشطار الميكروسكوبي بوحدة سم$^{-2}$ (بارن)

σ_a= مقطع الامتصاص الميكروسكوبي للوقود بوحدة سم$^{-2}$ (بارن)

2- العامل الثاني ϵ:

ϵ= معامل الانشطار السريع Fast Fission Factor

$$\epsilon = \frac{n_{PT}+n_{pF}}{n_{pT}} \qquad (3.12)$$

حيث n_{pT} عدد النيوترونات الناتجة من الانشطار الحراري.

n_{pF} عدد النيوترونات الناتجة من الانشطار السريع.

3- العامل الثالث p:

p = احتمال الهروب من الامتصاص الرنين Resonance escape probability ويظهر ذلك في عملية تهدئة النيوترونات خلال المهديء لتصل طاقتها الي الطاقة الحرارية. وتمتص بعض النيوترونات بينما يتمكن الباقي من الهروب من الامتصاص، p تمثل الجزء الذي يتمكن من الهروب مقسوماً على العدد الأصلي قبل تهدئته.

4- العامل الرابع f:

f = عامل الانتفاع الحراري Thermal utilization وهو النسبة بين امتصاص النيوترونات في الوقود وبين امتصاصها في بقية مواد المفاعل ويكتب بالعلاقة التالية:

$$f = \frac{n_{AF}}{n_{AR}} \qquad (3.13)$$

حيث n_{AR} عدد النيوترونات الحرارية الممتصة في جميع مواد المفاعل[7].

3.5 المفاعلات النووية:

عبارة عن منشآت ضخمة تستخدم لأغراض الحصول على الطاقة الكهربيه او تحويل عناصر كيميائية معينة الي عناصر أخرى ذات نشاط اشعاعي تستخدم للتطبيقات الطبية او الصناعية او للبحوث النووية.

يتم فيها السيطرة على عملية الانشطار النووي بالوقود النووي، وتكمن الفكرة في تحفيز انشطار ذرات هذه الانوية بعد ان تصل الي مرحلة ما يسمى الكتلة الحرجة وتعرف بانها اقل كتلة مادة معينة كافية لتوليد سلسلة متعاقبة من الانشطارات[4].

3.5.1 مكونات المفاعل النووي:

1- قلب المفاعل:

يحتوي على الوقود النووي وقضبان التحكم والمهديء والمبرد والعواكس.

2- الوقود النووي:

عبارة عن قضبان من اليورانيوم او أوكسيد اليورانيوم الطبيعي او المخصب باليورانيوم 235، هذه القضبان مجمعة على هيئة حزم أو قطاعات بحيث تسمح للمبرد ان يتدفق خلالها لإستخلاص الحرارة منها[7].

3- قضبان التحكم Control Rods:

وهي مواد شديدة الامتصاص للنيوترونات مثل البورون والكادميوم وتستخدم للتحكم في التفاعل الانشطاري وتنظيم معدل التفاعل المتسلسل[7].

4- المهديء Moderators:

هي مواد تستخدم للتحكم في سرعة عمليات الانشطار النووي نتيجة لتهدئة النيوترونات السريعة الناتجة من الانشطار وتحويلها الي نيوترونات حرارية يتم امتصاصها من اليورانيوم – 235 [8].

وفي كثير من الأحيان يكون المهديء مبرداً في نفس الوقت.

أهم خصائص المهديء ان يكون خفيف الكتلة قليل الامتصاص للنيوترونات مثل الكربون والهيدروجين والماء العادي والماء الثقيل [7].

5- المبرد Coolant:

سائل أو غاز يدور حول المفاعل لنقل الحرارة او امتصاصها من الوقود. لمنع ذوبان قضبان الوقود. وأهم خصائص المبردات ان يكون امتصاصها للنيوترونات أقل ما يمكن والمبردات المستخدمة هي الماء بأنواعه والغازات مثل غاز ثاني أوكسيد الكربون والهيليوم وفلز الصوديوم والرصاص أو خليط الرصاص-البزموت وأملاح الفلور المنصهرة[7].

6- العواكس Reflectors:

يزود قلب المفاعل بعواكس من مواد خفيفه وظيفتها الحفاظ على النيوترونات من التسرب خارج المفاعل وعكس بعض النيوترونات الي قلب المفاعل، توضع احياناً عواكس من اليورانيوم – 238 للإستفادة من النيوترونات المتسربة خارج المفاعل لتحويلها الي مادة انشطارية.

7- وعاء الضغط Pressure Vessel :

يصنع من الحديد غير قابل للصدأ وسمكه يزيد عن 20cm لكي يتحمل الضغط العالي ودرجات الحرارة تزيد على 2000 درجة فهرنهايت ويحتوي على القلب في معظم المفاعلات كما يحتوي ايضاً على قنوات تمرير مادة تبريد المفاعل وفي معظم الحالات يبطن بألواح سميكة من الفولاذ للحد من انتشار الاشعاعات النووية وانتقالها من القلب[9].

8- المبادل الحراري:

يستخدم لنقل الطاقة الحرارية من دائرة التبريد الأولى والتي تبرد قلب المفاعل الي دائرة تبريد ثانوية. السبب الأساسي لاستعمال دائرة تبريد ثانوية هو الحصول على بخار نظيف خالي من الاشعاعات.

9- التوربين والمولد الكهربائي وتوابعهما:

ويمثل هذا الجزء الاستفادة من الطاقة الحرارية وتحويلها الي طاقة ميكانيكية عن طريق التوربين ومن ثم تحويلها الي طاقة كهربائية عن طريق المولد الكهربائي[7].

10- الدروع اليولوجية:

تتكون في المفاعلات النووية من كتل خرسانية سميكه تحيط بوعاء الضغط وتعمل على حماية الانسان والبيئة من التعرض للأشعة وذلك لأنه يمنع تسرب الإشعاعات النووية خارج المفاعل[9].

3.5.2 تصنيف المفاعلات الإنشطارية Fissions Nuclear Reactor Classification:

تصنف المفاعلات حسب عدة قواعد منها:

أ- طاقة النيوترون Neutron Energy.

1- المفاعلات السريعة: ان اغلبية الانشطارات تحدث بواسطة طاقة النيوترونات السريعة ويكون معدل الطاقة عدة مئات من الكيلو إلكترون فولت.

2- المفاعلات الحرارية: إن أغلب الإنشطارات تحدث بواسطة النيوترونات الحرارية.

3- المفاعلات المتوسطة: تحدث الانشطارات بواسطة النيوترونات ذات الطاقة المتوسطة[8].

ب- غرض الإستخدام:

يمكن تقسيم المفاعلات بناءًا على غرض استخدامها الي عدة أنواع منها:

1- مفاعلات توليد الطاقة الكهربيه Power Reactors.

2- مفاعلات البحث Research Reactors.

حيث تصمم المفاعلات لإجراء التجارب المختلفة التي تساعد على دراسة الفيزياء النووية والإشعاع وتحضير النظائر المشعة والدراسات المتعلقة بالفيزياء.

3- مفاعلات الدفع Propulsion Reactors.

تستخدم في توليد قوة الدفع اللازمة للسفن والغواصات والمراكب الفضائية التي تعمل بالطاقة النووية.

4- المفاعلات الإنتاجية Breeder Reactors:

ج- التركيب لقلب المفاعل:

1- المفاعلات المتجانسة Homogeneous Reactors:

في هذا النوع يكون الوقود والمهديء خليطاً متجانساً.

2- المفاعلات غير المتجانسة Heterogeneous Reactors:

الوقود والمهديء يكونان مفصولين.

د- المهديء والمبرد Moderator and Coolant:

في بعض المفاعلات تستخدم مادة واحده لغرض التهدئه والتبريد مثل الماء العادي و الماء الثقيل وفي مفاعلات أخرى تستخدم مادة مستقلة لكل غرض.

ه- الوقود Fuel:

مفاعلات تستخدم اليورانيوم الطبيعي أو المخصب أو بلوتونيوم.

و- إمكانية إنتاج مواد جديدة قابلة للإنشطار:

1- مفاعلات محوله: وهي تلك التي تنتج مواد قابلة للإنشطار أقل مما تستهلك (Convertor Reactors).

2- المفاعلات المولدة: وهي تلك التي تنتج مواد قابلة للإنشطار أكثر مما تستهلك (Breeder Reactors)[8].

3.5.3 أنواع المفاعلات النووية الإنشطارية:

1- المفاعلات المبردة بالغاز Gas Coolant Reactors (GCR):

تبنت بريطانيا إنشاء المفاعلات النووية المبردة بغاز ثاني أوكسيد الكربون والتي تستخدم الجرافيت كمهديء للنيوترونات واليورانيوم الطبيعي المغلف بسبائك المغنيسيوم كوقود. أما قضبان التحكم في الانشطار النووي من البورون.

وفي الدورة الحرارية يستخدم غاز ثاني أوكسيد الكربون الحار الخارج من المفاعل لإنتاج البخار عن طريق المبادل الحراري ودائرة التبريد الثانوية، ومن ثم توليد الكهرباء باستخدام توربينات بخارية ضخمة ملحق بها مكثف حيث يتكثف البخار ويعود الماء الي المبادل الحراري [7].

مميزاتها:

أ- إستخدام اليورانيوم الطبيعي.

ب- نظافة البخار من الإشعاع.

عيوبها:

أ- تدني الكفاءة.

ب- التأثيرات السيئة لغاز co_2 الذي يتحول الي مادة تساعد على التآكل بشدة عند درجات الحرارة العالية[8].

ولرفع كفاءة هذا النوع من المحطات النووية أقيم برنامج المفاعل المتقدم المبرد بالغاز Advanced Gas Cooled Reactor (AGCR) والذي يستخدم وقود اليورانيوم المخصب بنسبة 2% والمغلف بالحديد غير القابل للصدأ أما المهديء

فهو من الجرافيت والمبرد من ثاني أوكسيد الكربون أما قضبان التحكم فهي من البورون.

2- المفاعلات الحرارية المبردة بالغاز High Temperature Gas (HTGCR) Cooled Reactors:

يستخدم هذا النوم الوقود المصنوع من خليط من اليورانيوم والثوريوم $(Tho_2 + Uo_2)$ والمخصب بنسبة تركيز عالية من اليورانيوم – 235 تصل حوالي 93%. المهديء من الجرافيت ويستخدم غاز الهيليوم كمبرد والذي بدوره ينقل الطاقة الحرارية الي المبادل الحراري ومن ثم توليد البخار في دائرة التبريد الثانوية حيث تصل درجة حرارة البخار 560°م وضغطه الي 100 جوي[7].

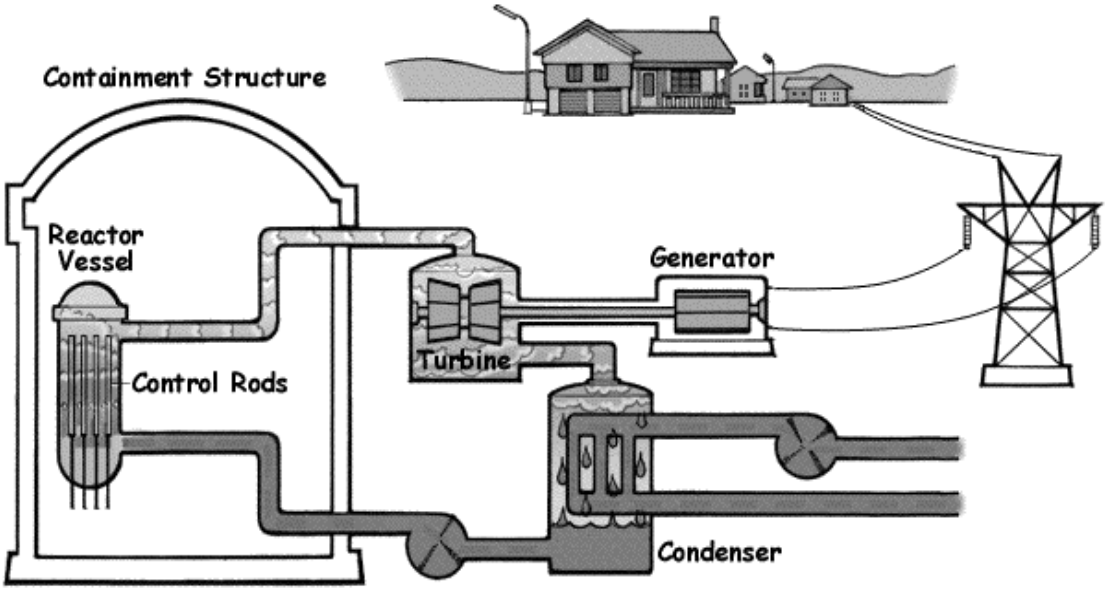
3- مفاعلات الماء الخفيف Light water Reactors (LwR):

هذه المفاعلات تستخدم الماء العادي كمبرد ومهديء والوقود المستخدم اليورانيوم المخصب بنسبة 2.5-3.5% وتمثل حوالي 85% من مجموع المفاعلات في العالم.

- أنواع مفاعلات الماء الخفيف:

أ- مفاعلات الماء المغلي Boiling water Reactors (BwR):

يستخدم الماء الخفيف كمهديء ومبرد ويسمح له بالغليان في قلب المفاعل ومن ثم يجمع البخار ويوجه مباشرة الي التوربين. ويكون البخار مشبعاً ودرجة حرارته حوالي 275^0 م أما ضغطه فيكون 70 جوي تقريباً. ويستخدم وقود ثاني أوكسيد اليورانيوم 235 بنسبة 2.6% والمغلف بسبيكة الزركونيوم. قضبان التحكم فهي من كربيد البورون أو من الكادميوم، وعاء الضغط من الحديد الصلب المبطن بمواد غير قابلة للصدأ[7].



يبين الشكل(3.1) رسم تخطيطي لمفاعل الماء المغلي[10].

مميزات مفاعل الماء المغلي:

1- عدم وجود المبادل الحراري ودائرة التبريد الثانوية مما يجعله أعلى كفاءة وأقل تكلفة.

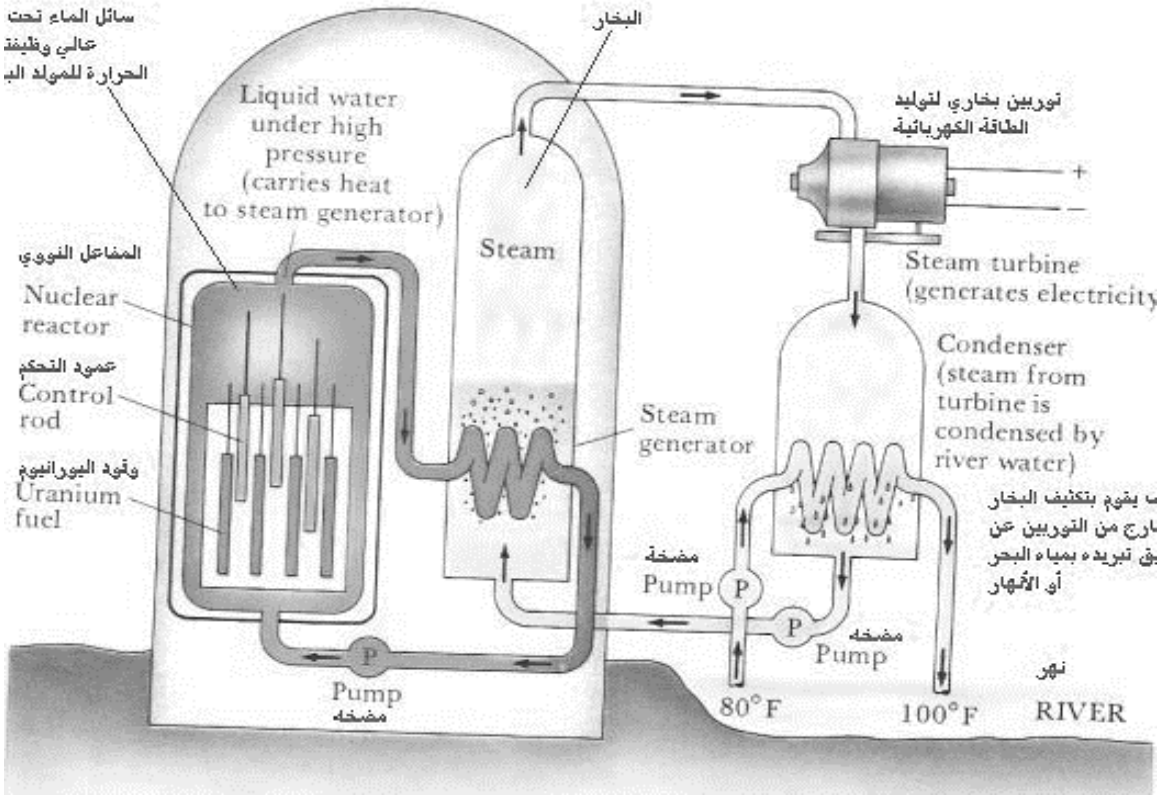
عيوب مفاعل الماء المغلي:

2- دخول البخار مباشرة الي التوربين وهذا البخار ملوث بالإشعاع وبالتالي احتمال تلوث التوربين وتصبح عمليات الصيانة صعبه.
3- عدم إنتظام فقاعات الغاز اثناء غليان الماء ومشاكل الإنتقال الحراري المصاحبه لها[8].

4- مفاعلات الماء المضغوط Pressurized water Reactors (PwR):

في الشكل (3.2) نجد ان المكونات الرئيسية لهذا المفاعل هي: المفاعل ودائرة التبريد الأولى والمبادل الحراري ودائرة التبريد الثانية والتوربين مع المكثف وكذلك المولد الكهربائي. في هذا المفاعل يكون ماء التبريد في قلب المفاعل تحت ضغط عال يصل الي 160جوي لمنع غليان الماء اما درجة حرارة الماء 300^0م. يغادر الماء الساخن قلب المفاعل عن طريق دورة التبريد الأولى الي المبادل الحراري حيث يتم إنتاج البخار في دورة التبريد الثاني فيكون البخار نظيفاً، ويوجه الي التوربين ثم يتحول الي ماء عبر المكثف يعود بعدها الي المبادل الحراري.

في هذا المفاعل تعمل قضبان التحكم المصنوعة من الهافنيوم والمغلفة بسبيكة الزركونيوم من أعلى وهذا اكثر أماناً، الوقود غالباً ما يكون من ثاني أوكسيد اليورانيوم المخصب بنسبة 3.3% ووعاء الضغط مصنوع من الفولاذ الذي يبلغ قطره حوالي 10m وطوله 22m وقد يصل سمكه الي 25cm يتحمل درجة الحرارة والضغط العاليين[7].



شكل رقم (3.2) رسم تخطيطي لمفاعل الماء المضغوط[10].

مميزات مفاعل الماء المضغوط:

1- وصول البخار النظيف الي التوربين.
2- أعمدة التحكم تكون من أعلى مما يزيد في أمان هذا النوع من المفاعلات.

عيوب مفاعلات الماء المضغوط:

1- تكاليف وعاء الضغط عالية نسبياً.

2- وجود المبادل الحراري وملحقاته يجعل من محطة هذا المفاعل أقل كفاءة وأعلى تكلفة من محطة مفاعل الماء المغلي[8].

5- مفاعلات الماء الثقيل Heavy water Reactors (HwR):

يستخدم الماء الثقيل D_2O كمهديء ومبرد لقلب المفاعل. والوقود المستخدم من أوكسيد اليورانيوم الطبيعي المغلف بسبيكة الزركونيوم ويعمل الماء الثقيل كمهديء ومبرد واعمدة التحكم من كربيد البورون.

ونظراً لأن المفاعل يعمل تحت الضغط الجوي فإن الضغط المرتفع يكون داخل الأنابيب المحيطه بأعمدة الوقود والتي يتدفق فيها مبرد من الماء الثقيل ومن ثم تنتقل الحرارة عن طريق مبادلات حراريه الي دائرة تبريد ثانوية من الماء العادي حيث يتكون البخار ويوجه الي التوربين.

6-مفاعلات الماء الثقيل المولدة للبخار Steam Generation Heavy water Reactors (SGHwR):

يستخدم الماء الثقيل كمهديء والماء الخفيف كمبرد والذي يتحول الي بخار ولكن داخل انابيب التبريد حيث الضغط المرتفع بينما يبقى ضغط المفاعل تحت ظروف الضغط الجوي ويستخدم أوكسيد اليورانيوم المخصب بنسبة بسيطة تتراوح بين 0.7-2% من اليورانيوم – 235. وقضبان التحكم من كربيد الكربون[7].

مميزات مفاعل الماء الثقيل:

1- استخدام اليورانيوم الطبيعي كوقود.
2- قابلية الماء الثقيل لإمتصاص النيوترونات الحرارية ضئيلة جداً بالمقارنة مع الماء العادي.
3- يسمح بإنتاج مادة البلوتونيوم بكفاءة عالية.

عيوبه:

1- تكاليف هذا المفاعل أكبر بكثير من نظيره الذي يستخدم الماء العادي.
2- تكلفة الماء الثقيل تجارياً[8].

7-المفاعلات الولودة السريعة Fast Breeder Reactors:

تستخدم هذه المفاعلات النيوترونات السريعة دون إبطائها وبالتالي لا تستخدم المبردات ذات الوزن الذري الصغير ولا الماء على الاطلاق لذلك تستخدم الفلزات المعدنية مثل الصوديوم السائل في تبريد المفاعل ونقل الطاقة الحرارية الي المبادل الحراري فيتم تبخير الماء وتوجيهه الي التوربين ويستخدم

الوقود المخلوط من ثاني أوكسيد اليورانيوم وثاني أوكسيد البلوتونيوم (Uo_2 and P_4o_2) واليورانيوم 238 بنسبة 80% والمغلف بالحديد غير قابل للصدأ حيث يتحول الي البلوتونيوم 239 الانشطاري. من أشهر هذه المفاعلات المفاعل المبرد بالصوديوم المنصهر (LMFBR).

مميزاته:

أ- قلب المفاعل صغير جداً بالنسبة للمفاعلات الأخرى

ب- الكفاءة العالية لتوليد البخار بدرجة تزيد عن 500°م وضغط 170 جوي.

ج- قلة تكاليف دورة الوقود النووي نتيجة توليد مواد انشطارية جديده.

عيوبه:

هذه المفاعلات تستخدم الصوديوم في التبريد ولذلك لها بعض المساوىء:

د- الصوديوم عنصر معتم وليس شفاف لذلك يصعب رؤية ما يحدث داخل المفاعل وخاصة عند إجراء صيانة او إعادة شحن المفاعل.

ه- عند تعرض الصوديوم للنيوترونات يتحول الي Na_{11}^{24} وهو عنصر مشع نصف عمره 10 ساعات.

و- تفاعل الصوديوم الشديد مع الماء عند حدوث أي تسرب بينهما.

8- مفاعل سريع بتبريد الرصاص Lead-Cooled Fast Reactors:

يعمل بالنيوترونات السريعة ويستخدم الرصاص او سبيكة الرصاص Pb والبزموت Bi كمبرد في دورة واحدة مغلقه للتفاعل النووي. يتكون الوقود النووي من اليورانيوم في هيئة معدن أو في صورة نتريد اليورانيوم.

استخدم نوعان من المفاعل السريع المبرد بالرصاص لتشغيل الغواصات السوفيتيه، ولكن صعوبة هذا المفاعل لا يمكن تشغيله مره ثانية اذا بردت سبيكة الرصاص والبزموت ومن خواص هذه السبيكة لها درجة انصهار منخفضة تصل 123°c[6].

9- مفاعلات الفضاء:

تستخدم هذه المفاعلات لتزويد سفن الفضاء بالطاقة.

مفاعل SNAP اختصاراً لاستخدامه وهو Systems for nuclear Auxiliary power يتركب من مهديء وهو عبارة عن مخلوط متجانس من هايدرايد الزركانيوم والوقود عبارة عن يورانيوم ذو تخصيب مرتفع ويحاط القلب بعاكس من البيريليوم المبرد وهو سبيكة الصوديوم – البوتاسيوم،

المبادل الحراري يستخدم الزئبق المغلي والطاقة الناتجة تبلغ حوالي 4 كيلووات. التحكم عن طريق نصفي اسطوانتين من البريليوم.

10- المفاعلات التجريبية أو البحثية:

هناك العديد من هذه المفاعلات التي يمكن استخدامها لأغراض أبحاث الفيزياء النووية وتصميم المفاعلات وتحضير النظائر المشعة وغير ذلك من الاستخدامات ويوجد نوعين من هذه المفاعلات:
النوع الأول: يتكون من مهديء من الجرافيت والوقود عبارة عن اليورانيوم الطبيعي وهو ذو حجم كبير نظراً لضخامة كتلة اليورانيوم المستخدمة، ويمكن استخدام الماء كمخديء ومبرد ومن اشهر هذه المفاعلات التي تعمل وفق هذا المبدأ مفاعل بركة السباحة Swimming Pool Reactor أو مفاعل حوض الماء المكون من قلب من اليورانيوم العالي التخصيب ويعمل الماء في هذا المفاعل كمهديء ومبرد وعاكس للنيوترونات وكذلك كدرع واقي والنوع الآخر TRIGA [5].

11- المفاعل المبرد بالماء فوق الحرجSuper Critical water Reactors:

مفاعل الماء فوق الحرج (SCwR) من الجيل الرابع للمفاعلات الذي يستعمل الماء فوق الحرج ويماثل مفاعل LwR حيث يعمل تحت ضغط ودرجات حرارة عالية وبدورة تبريد مباشرة ويمكن للمفاعل ان يشتغل في درجات حرارة وضغط أعلى بكثير من كلا المفاعلين PwR و BwR ويستخدم الماء كمهديء والوقود يماثل الوقود لمفاعلات LwR [4].

3.5.4 عوامل الأمان في المفاعلات النووية:

عوامل الأمان كثيرة وتعتمد على نوع المفاعل ومن أهمها:

1- دفع مواد شديدة الإمتصاص للنيوترونات في قلب المفاعل.
2- تزويد المفاعلات بدورات احتياطية لتبريد قلب المفاعل.
3- الوعاء الحاوي للمفاعل: يتم حفظ جميع المعدات والمواد المشعة ووعاء الضغط وما تحتويه ودوائر التبريد المشعه وملحقاتها داخل وعاء حاوي يطلق عليه الوعاء الحاوي للمفاعل وذلك لضمان عدم تسرب المواد المشعة الي الخارج [7].

الفصل الرابع

مفاعلات الإندماج النووي

4.1 تفاعلات الإندماج النووي:

الاندماج النووي هو عمليه معاكسة للانشطار النووي حيث تندمج نواتين خفيفتين لتكوين نواة ثقيلة كتلتها تقل من مجموع كتلة مكوناتها ويحدث الاندماج النووي بين النوى الخفيفة كشرط أساسي. ويؤدي الي انطلاق طاقة نتيجة لأن الكتلة الكلية للنواة الناتجة أقل من الكتلة الكلية للنوى المتفاعله الاصلية وهذا النقص في الكتل يتحول الي طاقة. ويسمى التفاعل بالتفاعل النووي الحراري لانه يحدث فقط عند درجات حرارة عالية جداً، ويعتبر هذا النوع من التفاعلات مصدر لطاقة الشمس والنجوم والتي تنتج من اندماج انوية الهيدروجين "الديتريوم والتريتيوم" مع بعضها لتوليد أنوية ذرات الهيليوم[4].

وإن تفاعلات الاندماج في الشمس ليست مباشرة بل تأخذ المراحل التالية:

$$p + p \rightarrow d + e^{+} + \nu \tag{4.1}$$

$$p + d \rightarrow He^{3} + \gamma \tag{4.2}$$

$$p + He^{3} \rightarrow He^{4} + e^{+} + \nu \tag{4.3}$$

حيث ان d تعني الديتريوم وعند جمع التفاعلات الثلاث نحصل على:

$$4p \rightarrow He^{4} + 2e^{+} + \nu \tag{4.4}$$

أي ان التفاعلات الثلاثة تمثل تحول أربعة بروتونات لتكون نواة الهيليوم وإلكترونين، ولحساب الطاقة الناتجة عن تحول أربعة برتونوات الي نواة الهيليوم:

$$Q = 4m_p c^2 - m_{He} c^2 - 2m_e c^2 \tag{4.5}$$

$$= 3753.1 - 3727.5 - 1 = 24\ Mev \tag{4.6}$$

يمكن تقسيم تفاعلات الاندماج النووي الي مجموعتين رئيسيتين تعرف أولهما بدورة البروتون – بروتون والأخرى بدورة الكربون، كما وأننا نقترح هنا دورة أخرى تبدأ بالاوكسجين وحيث ان هذه التفاعلات تتم

داخل النجوم حيث تبلغ هناك درجة الحرارة قيماً هائلة حوالي 10^8k. فان المادة تصبح في حالة تأين كامل تعرف بحالة البلازما ويطلق على التفاعلات التي تتم عند درجات الحرارة هذه:

التفاعلات الحرارية النووية Thermonuclear Reactions:

أولاً دورة البروتون – بروتون Proton – Proton Cycle:

وتشمل هذه التفاعلات التالية:

$$H_1^1 + H_1^1 \rightarrow H_1^2 + e^+ + \nu + 0.42\ Mev \quad (4.7)$$

$$H_1^1 + H_1^2 \rightarrow He_2^3 + \gamma + 5.49\ Mev \quad (4.8)$$

وتنتهي هذه السلسلة بالتفاعل:

$$He_2^3 + He_2^3 \rightarrow He_2^4 + H_1^1 + H_1^1 + 12.86\ Mev \quad (4.9)$$

او بالتفاعل الأقل احتمالاً:

$$H_1^1 + He_2^3 \rightarrow He_2^4 + e^+ + \nu + 19.28\ Mev \quad (4.10)$$

هذه التفاعلات نجد أن محصلتها جميعاً يمكن كتابتها على الصورة التالية:

$$4H_1^1 \rightarrow He_2^4 + 2e^+ + 2\nu + \gamma + 24.69\ Mev \quad (4.11)$$

هنا ان البوزيترونات e^+ سوف يحدث لها افناء ويتحرر تبعا لذلك قدرا من الطاقة يساوي 1.02 Mev. ومن ثم فان الطاقة الناتجة عن التفاعل (4.11) تساوي 26.73 Mev.

ثانياً: دورة الكربون Carbon Cycle:

وتشمل هذه التفاعلات التالية:

$$H_1^1 + C_6^{12} \rightarrow N_7^{13} + \gamma + 1.95\ Mev \quad (4.12)$$

ثم يتحلل النيتروجين بعمر نصف قدره 9.96 دقيقه حسب التفاعل:

$$N_7^{13} \rightarrow C_6^{13} + \beta^+ + \nu + 1.20\ Mev \quad (4.13)$$

$$H_1^1 + C_6^{13} \rightarrow N_7^{14} + \gamma + 7.55\ Mev \quad (4.14)$$

$$H_1^1 + N_7^{14} \rightarrow O_8^{15} + \gamma + 7.34\ Mev \quad (4.15)$$

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

$$o_8^{15} \rightarrow N_7^{15} + \beta^+ + \nu + 1.68\ Mev \quad (4.16)$$

$$H_1^1 + N_7^{15} \rightarrow C_6^{12} + He_2^4 + 4.96\ Mev \quad (4.17)$$

وينتج أن التأثير النهائي للعمليات أعلاه هو تحول 4 نويات هيدروجين الي نواة الهيليوم He_2^4. وبجمع الطاقات والأخذ في الاعتبار طاقات تلاشي البوزيترونات ينتج ان الطاقة الناتجة تساوي 26.73Mev [5].

ثالثاً: دورة الأوكسجين:

وتشمل هذه التفاعلات التاليه:

$$H_1^1 + O_8^{16} \rightarrow F_9^{17} + \gamma + 0.60\ Mev \quad (4.18)$$

ثم يتحلل الفلور بعمر نصف قدره 64 ثانيه حسب التفاعل:

$$F_9^{17} \rightarrow O_8^{17} + \beta^+ + \nu + 2.76 Mev \quad (4.19)$$

$$H_1^1 + O_8^{17} \rightarrow F_9^{18} + \gamma + 5.61\ Mev \quad (4.20)$$

$$H_1^1 + F_9^{18} \rightarrow Ne_{10}^{19} + \gamma + 6.41\ Mev \quad (4.21)$$

ثم يتحلل النيون بعمر نصف قدره 17.3 ثانيه حسب التفاعل:

$$Ne_{10}^{19} \rightarrow F_9^{19} + \beta^+ + \nu + 3.24\ Mev \quad (4.22)$$

$$H_1^1 + F_9^{19} \rightarrow O_8^{16} + He_2^4 + 8.11\ Mev \quad (4.23)$$

4.2 التفلاعلات الإندماجية التي يمكن استغلالها للحصول على الطاقة:

وهذه التفاعلات هي:

$$d + d \rightarrow He_2^3 + n + 3.27\ Mev \quad (4.24)$$

$$d + d \rightarrow T + p + 4.03\ Mev \quad (4.25)$$

$$d + T \rightarrow He_2^4 + n + 17.58\ Mev \quad (4.26)$$

كما ويمكن استغلال النيوترونات المنطلقة من هذه التفاعلات في انتاج التريتيوم وذلك عند تفاعلها مع الليثيوم حسب المعادلتين:

$$n_0^1 + Li_3^6 \rightarrow He_2^4 + T + 4.8\ Mev \quad (4.27)$$

$$n_0^1 + Li_3^7 \rightarrow He_2^4 + T + n_0^1 - 2.5\ Mev \quad (4.28)$$

لاحظ هنا ان التفاعل الأخير بحاجة الي طاقة قدرها 2.5Mev ليتم التفاعل ومن ثم فهو تفاعل ماص للطاقة. تعرف هذه التفاعلات بالتفاعلات الإنتاجية[4].

4.3 درجة الإشتعال:

لكي يحدث الاندماج النووي بين انوية الهيدروجين فانه على هذه الانوية اقتحام حاجز كولوم الناتج بينهما نظراً لان هذه الانوية مشحونه بشحنات موجبه، وتبلغ قيمة حاجز كولوم حوال 10Kev ومن ثم فانه علينا ان نزود هذه الانوية بطاقة تساوي على الأقل هذه الطاقة كي يتم الالتحام بينهما ويمكن ان يتم ذلك بطريقتين:

1- تعجيل هذه الانوية الي طاقة حركة تسمح لها باقتحام حاجز كولوم ويمكن ان يتم ذلك في المعجلات. يبدو ان هذه المهمة سهلة التنفيذ عند قذف الديوتيريوم على اهداف من التريتيوم او الديوتيريوم ليتم الاندماج ولكن الذي يحدث هو تشتت هذه القذائف بدلاً من التحاملها بها.
وقد وجد أن احتمال التشتت يفوق احتمال الاندماج بملايين المرات. ومن ثم فعلينا ان نقوم بترتيب معين يسمح بتصادم هذه الجسيمات مع بعضها البعض ملايين المرات وبالتالي يبدو ان هذا الخيار غير عملي. ونتيجة لحركة الشحنات بسرعات كبيرة فانها تفقد جزءًا من طاقتها عن طريق اشعاع الإيقاف.

2- يمكن تسخين هذه الانوية الي درجات حرارة ينتج عنها طاقة حركة كافية لاقتحام حاجز كولوم ومن ثم اندماجها مع بعضها البعض حيث نجد أن

$$1K \rightarrow 1.29 \times 10^{-4} ev \quad (27.4)$$

ومن ثم فإن حاجز كولوم الذي يبلغ حوالي 10Kev يعني اننا يجب ان نسخن الانوية الي درجة حرارة تساوي حوالي $7.7 \times 10^7 k$. فلا توجد مادة في حالتها السائلة او الغازية يمكنها ان تتحمل

هذه الدرجة ومن ثم فان ذرة المادة تتأين تأينا كاملاً. ومن ثم نحصل على غاز مؤين عند درجات حرارة عاليه وهو ما يعرف بالبلازما.

ولكي يتم الاندماج النووي فانه لا بد من الاحتفاظ بالبلازما عن درجات الحرارة الهائلة المذكوره لمدة زمنية كافيه وذلك لان تصادمات التشتت تفوق كثيراً تفاعلات الاندماج التي تنتج عنها الطاقة الاندماجية. وتعرف درجة الحرارة التي يصبح عندها التفاعل الاندماجي ذاتي ومستمر بدرجة الاشتعال وهي ايضاً درجة الحرارة التي تتساوى عندها الطاقة الاندماجية الناتجة مع الطاقة المفقودة. وعند درجات حرارة أعلى من هذه الدرجة لا يصبح التفاعل ذاتياً فحسب انما يتحرر المزيد من الطاقة. وللاحتفاظ بالبلازما عند درجات حرارة هائلة يجب عزلها عن الاناء الحاوي لها، ومن ثم يصبح احتواء البلازما والسيطرة عليها أكبر المشاكل التي تواجه بناء المفاعل الاندماجي[5].

4.4 شروط الحصول على طاقة الاندماج النووي:

لإنتاج كميات كبيرة من الطاقة بواسطة الاندماج النووي يجب توفر ثلاثة شروط رئيسيه:

1- يجب تسخين وقود الاندماج الي درجات حرارة عالية جداً حيث ان درجة الحرارة الدنيا المطلوبة لاندماج الديتيريوم والتريتيوم هي مائة مليون مئويه، وفي درجات الحرارة هذه تمتلك الجسيمات طاقة كافية للتغلب على التنافر فيما بينها الناتج عن كون الايونات ذات شحنة موجبة وعندئذ يصبح التفاعل النووي ممكناً ونحصل على الاندماج.
2- يجب ان يكون عدد الجسيمات كافياً للحصول على طاقة عاليه تكفي لاستمرار التفاعل ويسمى عدد الجسيمات في وحده الحجم بالكثافة.
3- يجب ان يحتفظ الوقود بطاقته لفترة معينه من الزمن تسمى زمن الاحتواء او الحصر.

وللحصول على طاقة الاندماج يجب حصر الجسيمات بدرجات حرارة عالية ولفترة كافية لانتاج طاقة اكثر من التي استخدمت لتسخين الجسيمات وحصرها. واذا كان وقت الاحتواء قليلاً يجب ان تكون الكثافة عاليه وان لم تكن الكثافة عاليه يجب احتواء الوقود لفتره أطول من الزمن. وتسمى القاعدة للحصول على مفاعل اندماجي مستمر في العمل قاعدة لاوسن وحسب هذه القاعدة يكون حاصل ضرب الكثافة في زمن الاحتواء مساوياً الي 10^{14} جسيم /سم^3 في الثانية[11].

4.5 تسخين البلازما:

يمكن ان يتم تسخين البلازما الي درجة حرارة الاندماج النووي (10^8K) بعدة طرق:

1. التسخين الكهربي التقليدي.
2. حقن جسيمات متعادلة عاليه الطاقة في البلازما.
3. المجالات المغناطيسيه التي تعمل على ضغط البلازما.
4. تسخين الترددات العاليه الكهرومغناطيسية الرنينية.
5. أشعة الليزر [5].

4.6 إحتواء البلازما:

لا يمكن احتواءء البلازما في الاناء لان درجة حرارة البلازما عاليه فاذا لامست جدران الوعاء سيؤدي الي صهر مادة الوعاء او برودة ذرات البلازما وللمحافظة على ذراتها دون تلامس واحتوائها يتم ذلك عن طريق المجالات المغناطيسيه المختلفة وقد أجريت عدة محاولات للوصول الي الاحتواء المطلوب وتم بناء عدة منظومات نستعرض بعضاً منها:

1- اللفات الاهليجية Stellartor:

يمكن الحصول على شرك مغناطيسي حلقي باستخدام موصلات توضع حول الحلقة حيث ينتج انضغاط حلقي للبلازما بينما تمر في الحلقة.

2- التوكاماك: توفر هذه الأجهزة أفضل استقرار للبلازما [5].

4.7 تقنيات لبناء مفاعل اندماجي:

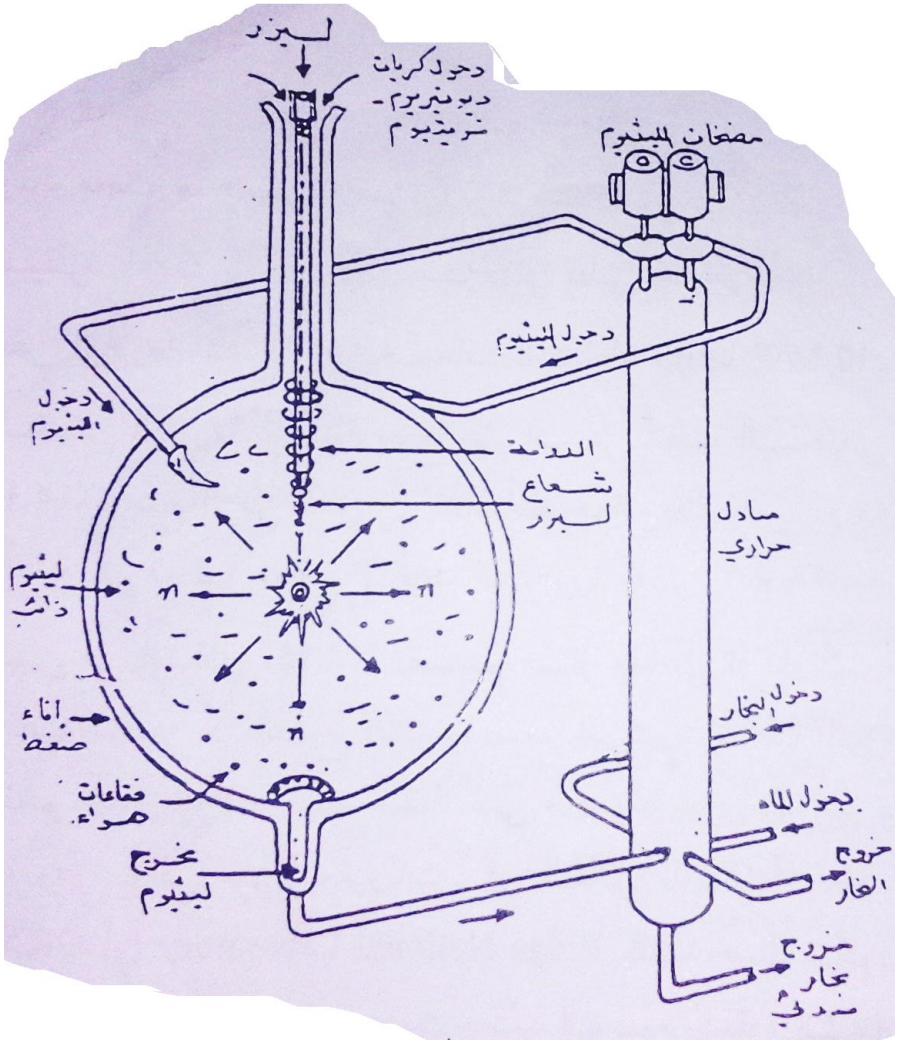
هناك عدة تقنيات اعتمدت لتكون الأساس لبناء مفاعل اندماجي وتنقسم هذه الي ثلاثة أنواع:

1. تقنية تعتمد مبدأ التسخين بالليزر "الإحتواء بالقصور الذاتي".
2. تقنية تعتمد مبدأ التسخين بالجسيمات عالية الطاقة.
3. تقنية تعتمد مبدأ التوكاماك "الاحتواء المغناطيسي".

- تقنية الليزر:

يمد الوقود الاندماجي بالطاقة اللازمة للاندماج عن طريق قذفه بشعاع ليزر ذي طاقة عاليه.

الشكل (4.1) يوضح تصميم مفاعل اندماجي مستقبلي يبنى على فكرة استخدام الليزر لتسخين كريات من الديوتيريوم والتريتيوم حيث تحقن كريات الوقود خلال فراغ من الليثيوم الذائب ثم تطلق نبضة قوية من الليزر للتصادم مع كرية الوقود عند مركز الوعاء ويحدث انفجاء نووي حراري داخلي. يتم امتصاص طاقة الانفجار بواسطة الليثيوم والفقاعات الغازية المنتشرة فيه والتي تطلق عن طريق حلقة عند قاعدة الاناء ثم تنتقل الطاقة بواسطة الليثيوم الي المبادل الحراري التقليدي او باستخدام منظومة البوتاسيوم – البخار الثنائية لزيادة الكفاءة[5].



الشكل (4.1) يوضح تصميم مفاعل اندماجي[5].

- تقنية الجسيمات عالية الطاقة:

يمكن استخدام المعجلات لانتاج جسيمات عاليه الطاقة مثل الالكترونات والايونات المختلفة. ووجد ان قذف الوقود الاندماجي بالالكترونات يزودها بطاقة أعلى من الطاقة المعطاه لها باستخدام الليزر وتستخدم هذه الجسيمات لتسخين البلازما.

هناك بعض المشاكل التي تواجه هذه التقنية. فمن المتوقع ان الالكترونات عاليه الطاقة ستتفاعل مع كرية الوقود ثم تنفذ منها دون ان تمتص فيها ولكن الأبحاث دلت على ان هذه الكريات تتمكن من امتصاص هذه الالكترونات بسرعة، لقد بذلت محاولات للتغلب على مشكلة امتصاص الطاقة منها قذف الكريات بجسيمات ثقيله مثل البروتونات والديوترونات التي يمكن ان تعمل على ضغط الكريات ولكن هذه الجسيمات تنفذ بسرعة من الكريات محدثه تسخيناً سابقاً لأوانه ومن ثم تخفض الانضغاط المطلوب. والأبحاث ما زالت مستمرة[5].

4.8 التوكاماك Tokamak:

هو نظام الاحتواء المغناطيسي الأكثر تطورا وهو الأساسي الذي يقوم عليه تصميم مفاعلات الاندماج المستقبلية و(توكاماك) هي كلمة روسية تعني "حجيرة المغناطيس الحلقي".

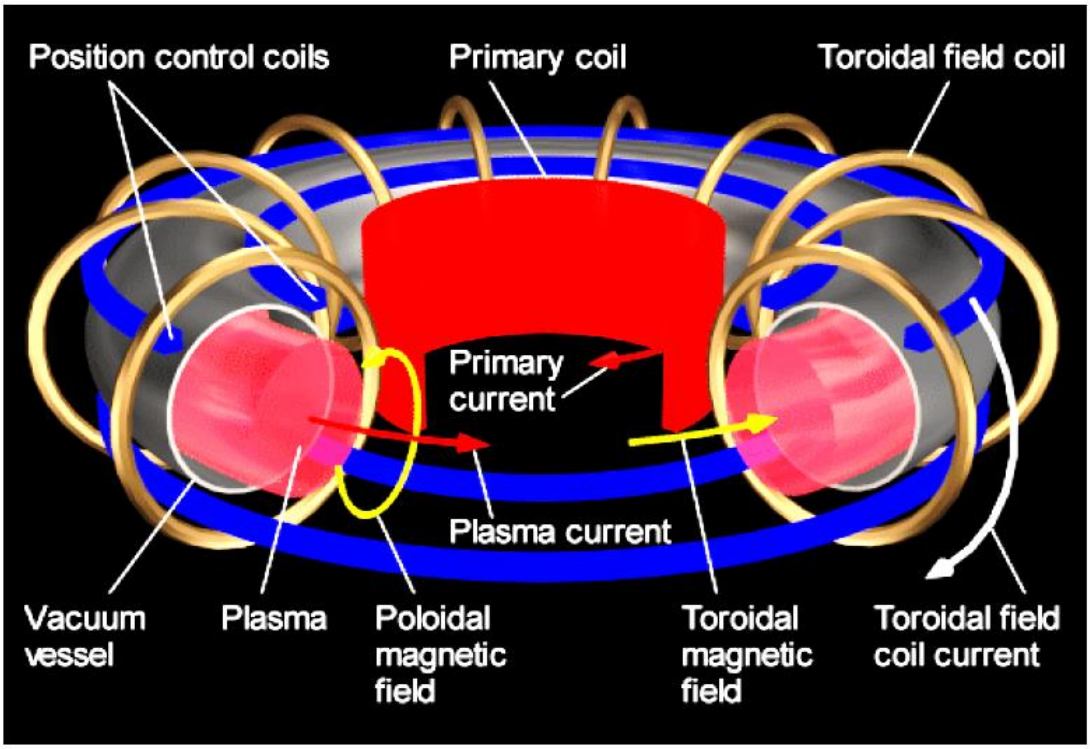
كيف يعمل التوكاماك:

الجزء المركزي للتوكاماك عبارة عن حجرة فراغ حلقية داخل هذه الحجرة ونتيجة لتأثير الحرارة والضغط الشديدين يتحول الوقود الهيدروجيني الغازي الي بلازما وتوفر البلازما البيئة المناسبة لاندماج العناصر الخفيفة مما يؤدي الي تحرر الطاقة الناتجة من الممكن تشكيل الجسيمات المشحونة للبلازما والتحكم بها باستخدام ملفات مغناطيسية ضخمة توضع حول الوعاء.

يتم انضغاط التفريغ الحلقي بواسطة المجالات المغناطيسية ويتم ذلك بتوليف مجالين مغناطيسيين:

1- المجال الحلقي: (Torodial Field) ويتولد هذا المجال بواسطة ملفات محيطيه تحيط بحلقة التفريغ وتعمل خطوطه في اتجاه يوازي اتجاه تدفق تيار البلازما الذي يمر في محور الحلقة.
2- المجال القطبي (Poloidal Field) ويتولد هذا الجهاز بواسطة محول حيث تعتبر البلازما الموصله ملفه الثانوي ومن ثم فان هذا المجال يتعامد مع المجال الحلقي وكذلك على اتجاه مرور التيار الكهربي ويعمل هذا المجال على احتواء البلازما اما التيار الكهربي القطبي الذي يمر موازيا

لاتجاه حركة البلازما فيعمل على تسخينها عن طريق التسخين الكهربي كما موضح بالشكل (4.2) [5].



شكل (4.2) يوضح توكاماك[12].

4.9 المفاعل النووي الحراري التجريبي الدولي:

International Thermonuclear Experimental Reactors (ITER)

تم اعتماد تقنية التوكاماك كاساس لتطوير المفاعل النووي الحراري الدولي. علماء فيزياء الاتحاد السوفيتي هم اول من قاموا بتطوير خط انتاج لوحدات التوكاماك اعتمادا على فكرة سخاروف Sakharov، التي اقترحها عام 1960م. تم اختيار مفهوم سخاروف Sakharov بنجاح في معهد كرتشاتوف Kurchatov للأبحاث والتطوير.

4.9.1 أهداف ITER

أهداف ITER العلمية والتقنية تتضمن الآتي:

1. تحقيق تفاعل نووي ذاتي مستدام.
2. إطالة مدة التفاعل النووي.

3. التشغيل الآمن للمفاعل.

4.9.2 مكونات المفاعل والمواد Reactor structure and materials:

يتكون المفاعل من بنية هيكلية داعمه مثبت فيها مغناطيس فائق التوصيل يحيط به من الخارج تدريع ومن الداخل يوجد غطاء (لامتصاص النيوترونات والحرارة الناتجه) يحيط بوعاء التفريغ الذي يحتوي البلازما.

الوعاء المحيط بالبلازما يتم تشعيعه بواسطة الايونات والالكترونات والفوتونات والنيوترونات مما يؤدي الي تغيير خصائص المواد المكونه له. وعليه مكونات هذا الوعاء يجب ان تكون متلائمه مع التفريغ العالي والحرارة العالية والتشعيع بواسطة النيوترونات ويجب أيضا ان تكون ذات موصلية حرارية عاليه وخصائص ميكانيكيه حرارية جيده ومرونه عاليه للتمددات الحرارية ويجب ان تكون غير مغناطيسية وقليلة التأثر بالنيوترونات ولها مقاومة عاليه للأضرار الناتجة من الاشعاع.

لا يوجد عنصر منفرد واحد يتوفر فيه تلك الخصائص ولكن السبائك يمكن ان تفي بالغرض، هنالك القليل من المواد التي يتوفر فيها تلك الخصائص مثل مركبات ألياف الكربون، والبريليوم، التنجستن وسلوك هذه المركبات مختلف جداً وعليه توزيعها في جدار المفاعل مختلف حيث ان البريليوم يستخدم في تغطية منافذ الوعاء الحاوي للبلازما.

اما بالنسبة لمكونات الغطاء (Blanket) فنجدها تتركب اساساً من Austenitic steel ، Vanadium - Titanium alloys ، silicon carbide composites [12].

4.9.3 مواد تبريد الغطاء:

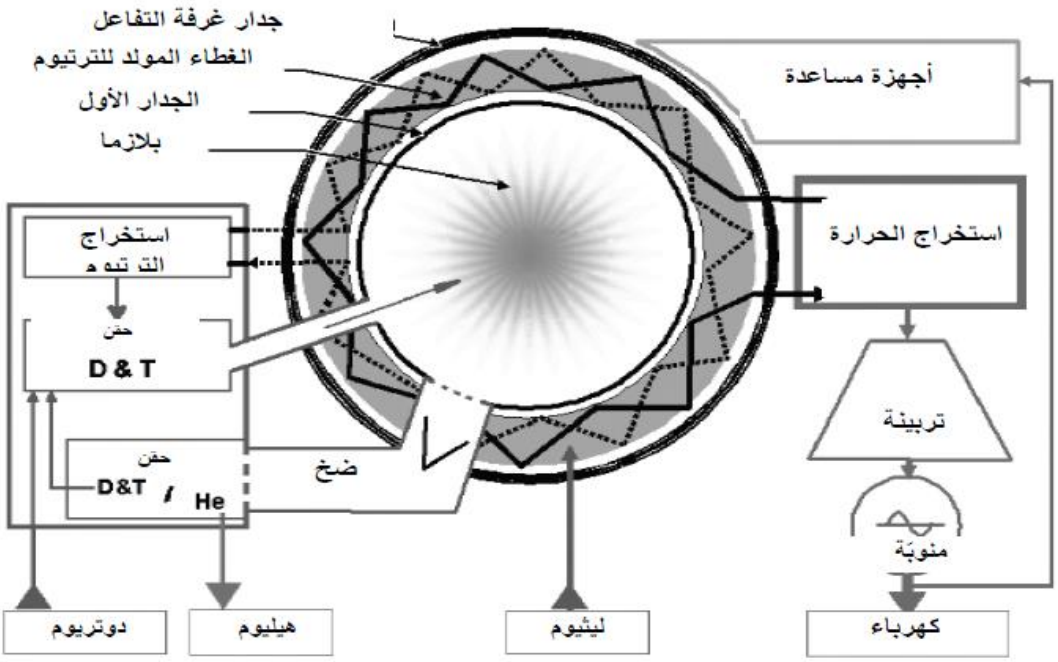
هناك عدة طرق لتبريد غطاء المفاعل الاندماجي وهي اما تكون غاز "الهيليوم" او ماء أو سوائل معدنية "الليثيوم"[12].

4.10 المفاعل وإنتاج الطاقة الكهربائية:

يوضح الشكل (4.3) احد التصاميم لتوليد الطاقة الكهربائية من تفاعل الدمج بين الديوتيريوم والتريتيوم تنتج الطاقة من هذا بصيغة نيوترونات عالية السرعة تصطدم بغلاف الليثيوم السائل الذي يحيط البلازما تسخن النيوترونات الليثيوم وتحول جزءًا منه الي تريتيوم. ينقل الليثوم الساخن الحرارة الي الممبادل

الحراري الخارجي حيث ينقل جزءًا من الحرارة الي الماء فيتبخر ويستخدم بخار الماء في توليد الطاقة الكهربائية بواسطة مولد كهربائي، يفصل التريتيوم من الليثيوم ويخلط بالديوتيريوم ويرجع الي المفاعل كوقود.

يوضع جدار معدني سميك خارج البطانة لحجب النيوترونات ومنعها من الوصول الي الملفات المغناطيسية ويضاف الوقود الي البلازما باستخدام قاذفات الجسيمات الصغيرة من الهيدروجين المجمد بسرعة اكبر من سرعة اطلاق البندقية[11].



شكل رقم (4.3) يوضح أحد التصاميم لتوليد الطاقة الكهربائية من تفاعل الدمج بين الديوتيريوم والتريتيوم[13].

الفصل الخامس

5.1 المناقشة:

هنالك مزايا وعيوب لكل من المفاعل النووي الاندماجي والمفاعل النووي الانشطاري تتلخص في الاتي:

5.1.1 مزايا وعيوب المفاعل النووي الإندماجي:

مزايا المفاعل النووي الاندماجي:

1- سهولة الحصول على الوقود النووي حيث انه يمكن استخلاص الديتريوم من مياة البحر.
2- النفايات الناتجة عبارة عن غاز الهيليوم وهو غاز خامل لا يشكل ضرراً للبيئة.
3- الوقود المستخدم رخيص الثمن[14].
4- مفاعلات صديقه للبيئة أي اكثر أمناً من المفاعلات الإنشطارية[14].
5- النيوترونات التي تنتج داخل مفاعل الاندماج النووي يتم امتصاصها داخله أي لا ينتج عنها مواد عالية الاشعاع.
6- لا تستخدم سواء كميات قليلة بالوزن من مواد الوقود.
7- ينتج طاقة هائلة بالمقارنة مع طاقة الانشطار النووي[11].
8- لا ينتج عنها أي مواد انشطارية يمكن استخدامها في تصنييع الأسلحة النووية مثلما ينتج في مفاعلات الانشطار النووي[3].

عيوبه:

1- التكاليف الباهظه والتعقيدات الفنيه.
2- توفير الظروف المناسبة للتفاعل "درجة حرارة عالية وضغط عالي".
3- لم يستغل مفاعل الاندماج النووي لانتاج الطاقة الكهربية على نطاق اقتصادي وتجاري حتى الان.

5.1.2 مزايا وعيوب المفاعلات الإنشطارية:

المزايا:

1- لا تحتاج الي درجة حرارة عالية جداً لإحداث التفاعل.

2- تستخدم لانتاج الطاقة الكهربائية في معظم الدول كما تستخدم لأغراض عديده أخرى[4].

عيوبها:

1- المخلفات النووية الناتجة من التفاعل تظل مشعة لمدة طويلة كما ان التخلص منها مشكلة كبيرة.

2- تكلفتها عالية[15].

3- عرضه للحوادث ويترتب عليها عواقب سيئة لا يمكن اهمالها من وجهة نظر الحماية من الاشعاع والأمان النووي[7].

4- ينتج عنها مواد انشطارية تستخدم لأغراض غير سلمية[8].

5- أقل أمناً من المفاعلات النووية الاندماجية

5.2 الخاتمة:

بعد الدراسة النظرية للمفاعلات النووية الاندماجية والانشطارية وجد ان المفاعلات الاندماجية افضل من المفاعلات الانشطارية وذلك لعدة أسباب أهمها ان المفاعلات النووية الاندماجية اكثر امناً تنتج نفايات مشعة قليلة وكمية الطاقة الناتجة اكبر ولا تشكل ضرراً للبيئة وتستخدم كميات قليلة من الوقود مقارنة بالمفاعلات النووية الانشطارية التي ينتج عنها مخلفات اشعاعية ضارة بالبيئة والانسان وتكمن المشكلة في كيفية التخلص منها، ولكن مفاعلات الاندماج حتى الآن ليست قيد العمل وانما في طور التجربة والتصميم. ومن المتوقع انها ستكون متوفرة تجارياً في الأعوام القادمة.

5.3 التوصيات:

المفاعلات النووية شأنها كشأن غيرها من المنشآت عرضه للحوادث الإشعاعيه ويترتب عليها عواقب سيئة ولكن هنالك اعتبارات توضع في الحسبان لتقليل احتمال حدوثها منها يجب مراعات الآتي:

1- إنتشار الوعي وثقافة الأمان وتنمية روح المسؤولية لدي العاملين.
2- إنشاء هيئة رقابية مستقلة.
3- توفير الظروف التشغيليه ومنع وقوع الحوادث والتخفيف من آثارها على نحو يحقق وقاية العاملين والجمهور.
4- الحوادث الإشعاعية ينتج عنها نفايات مشعة تستمر لآلاف السنين يجب التخلص منها وحتى الآن ليست هنالك التزامات معينه نحو التخلص الدائم ولكن يجب دفنها داخل تراكيب جيولوجيه غير قابلة للإحتراق وأيضاً يجب التخلص منها عن طريق وضعها في أحواض مائيه كبيرة محاطة بطبقة سميكه من الاسمنت ودفنها في باطن الأرض على أعماق كبيرة.

المصادر والمراجع:

[1] مهدي أحمد العبيد جار النبي، 2005م، رسالة ماجستير، جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

[2] أحمد الحسن الفكي، 1999م، رسالة ماجستير، جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا.

[3] تيسير محي الدين المهدي، 1999م رسالة ماجستير جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

[4] عذاب طاهر الكناني، 2009م الفيزياء النووية والطبية، دار الفجر،

[5] محمد شحادة الدغمة، علي محمد جمعة، 2000م الفيزياء النووية، مكينة الفلاح،

[6] https;//ar.m.wikipedia.org

[7] محمد عبد الرحمن آل الشيخ، أحمد نصر كداشي، محمد عبد الفتاح عبيد، 2004م هندسة الاشعاع النووي، جامعة الملك سعود،

[8] أحمد الناغي، محمد نبيل يس البكري، 2005م الفيزياء النووية، دار الفكر العربي

[9] https;//www.maioz.com

[10] محمد أبو حوران، استخدام المفاعلات النووية لانتاج الكهرباء.

[11] خضر عبد العباس حمزة، غسان هاشم الخطيب، 1989م الطاقة الذرية واستخداماتها، منشورات منظمة الطاقة الذرية العراقية،

[12] Goswami, Sahoo, International Thermonuclear Experimental Reactor: A Thermonuclear Future.

[13] جوزيف فايس، زينا مغربل، أبوبكر سعد الله، 2003م الاندماج النووي، الرياض، الطبعة الأولى

[14] محمد حبيب بركات، 2008م اساسيات الفيزياء النووية، جامعة سسكس، بريطانيا، الطبعة الأولى

[15] حمدي السيد، 2010م الأمان النووي والحماية الفيزيائية للمواد والمنشآت النووية، القاهره، الطبعة الأولى