بسم الله الرحمن الرحيم

جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

كلية التربية

قسم الفيزياء

توليد الطاقة الكهربائية بإستخدام الطاقة النووية

Generation of electric engegy frome nuclear energy

بحث تكميلي لنيل درجة البكالريوس في الفيزياء

إعداد الباحثين:

رفاء نور الهادي

ستنا جمال بدوي

سجا أحمد عثمان

شيراز عثمان علي

إشـــراف:

د. أحمد محمد صالح

1437هـ - 2016م

بِسْمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحْمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ

الأيـــــــة

قَالَ ٱللَّهِ تَعَـالَىٰ:

﴿ ۞ إِنَّ ٱللَّهَ يُمۡسِكُ ٱلسَّمَٰوَٰتِ وَٱلۡأَرۡضَ أَن تَزُولَاۚ وَلَئِن زَالَتَآ إِنۡ أَمۡسَكَهُمَا مِنۡ أَحَدٖ مِّنۢ بَعۡدِهِۦٓۚ إِنَّهُۥ كَانَ حَلِيمًا غَفُورٗا ٤١ ﴾

صدق الله العظيـم

(سورة فاطر الآية: 41)

الإهـــداء

إلى من جرع الكأس فارغاً ليسقيني قطرة حب
إلى من كلّت أنامله ليقدم لي لحظة سعادة
إلى من حصد الأشوال عن دربي ليمهد لي طريق
العلم
إلى القلب الكبير ...
(والدي العزيز) ،،،
إلى من أرضعتني الحب والحنان
إلى رمز الحب وبلسم الشفاء
إلى القلب الناصع البياض ...
(والدتي الحبيبة) ،،،
إلى القلوب الطاهرة الرقيقة والنفوس البريئة
إلى رياحين حياتي ...
(إخوتي) ،،،
الآن تفتح الأشرعة وترفع المرساة لتنطلق السفينة
في عرض بحر واسع مظلم هو بحر الذكريات
ذكريات الأخوة البعيدة إلى الذين
أحببتهم وأحبوني ...
(صديقاتي) ،،،

الشكر والتقدير

الشكر لله أولاً على هذا التوفيق ونصلي ونسلم على المبعوث رحمة للعالمين سيدنا وحبيبنا وقرة أعيننا محمد (صلى الله عليه وسلم).

الشكر والتقدير لأساتذة جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا الأجلاء، ونخص بشكرنا وتقديرنا **الدكتور/ أحمد محمد صالح** الذى أشرف على هذا البحث وأعطانا من وقته ولم يبخل علينا بنصائحه وتوجيهاته الثرة حتى إكتمل هذا العمل ورأى النور.

ونشكر جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا كلية التربيه قسم الفيزياء التي منحتنا الكثير.

وأخيراً وليس آخراً لا يفوتنا ذكر من أتاح ويسر من افكار ومعلومات وجهد فله ُالفضل والمنة من بعد الله تعالى وهم هيئه الطاقة الذرية وبالأخص الأستاذ:

محمد عز الدين

فلكم منا كل الود والتقدير على الصبر وحسن التعامل جزاكم الله خيراً .

المستخلص

نظراً للتطور الكبير الذي جابه العالم في هذا القرن وتوسع مصادر الطاقة بشكل كبير فقد باتت الطاقة النووية من المصادر المهمة للطاقة وتطبيقاتها في المجالات المتعدده وخصوصا انتاج الكهرباء ونحن نتحدث في هذا المشروع عن (توليد الطاقة الكهربائية بإستخدام الطاقة النووية).

وقد تناولنا في الفصل الاول الحديث عن الطاقة النووية بشكل عام عن محطاتها وأجزائها ومميزاتها وعيوبها.

اما الفصل الثاني فقد اختص بالحديث عن التفاعلات النووية وتخصيب اليورانيوم. وفي الفصل الثالث فقد تطرقنا إلي فيزياء المفاعلات النووية وانواع المفاعلات وتركيبها. أما الفصل الرابع إشتمل علي توليد الكهرباء من الطاقة النووية.

Abstract

Given the significant evolution that confronted the world in this century energy sources dramatically expands it has become a nuclear power of the important sources of energy and their applications in multiple fields, especially the production of electricity and we are talking in this project from the (electric power generation using nuclear energy).

We discussed in the first chapter to talk about nuclear energy in general for its stations, their parts and its advantages and disadvantages.

The second chapter singled out by talking about the nuclear reactions and uranium enrichment. In the third chapter we dealt with the physics of nuclear reactors and the types of reactors and installed. The fourth quarter included the generation of electricity from nuclear power.

قائمة الموضوعات

البيـان	الصفحة
البسملة	أ
الآيـة	ب
الإهداء	ج
الشكر والعرفان	د
المستخلص	هـ
Abstract	و
قائمة الموضوعات	ز
الفصل الأول: الطاقة النووية	
مقدمة Introduction	2
تاريخ إستخدام الطاقة النووية	2
محطات القدرة النووية	4
الأجزاء الرئيسية لوحدة توليد نووية	5
مزايا وعيوب توليد القدرة النووية	6
اقتصاديات القدرة النووية	8
إختيار موقع وحدات توليد القدرة النووية	9
الفصل الثاني: التفاعلات النووية	
مقدمة Introduction	12
تفاعلات الجسيمات المشحونة	12
تفاعل النيوترونات	13
التفاعلات النووية الضوئية الناتجة عن تفاعل أشعة جاما مع مكونات النواة	13
التفاعلات المحفزة بالالكترونات	13
النواة المركبة	15
تفاعل الإنشطار النووي	17
تفاعل الإندماج النووي	20

اليورانيوم	23
تخصيب اليورانيوم	25
أهم طرق التخصيب	23
الفصل الثالث: المفاعلات النوويـة	
مقدمة Introduction	31
المفاعل النووي	31
أساسيات تصميم المفاعل	32
أجزاء المفاعل النووي	32
تصنيف المفاعلات النووية	35
نظرية المفاعلات	39
إنتشار النيوترونات	40
الفصل الرابع: توليد الطاقة بواسطة مفاعلات القدرة	
مقدمة Introduction	43
مفاعل الماء الخفيف	43
مفاعل الماء المغلي	46
مفاعل الماء المضغوط	48
مفاعل كاندو	50
الخلاصة	54
المصادر والمراجع	55

الفصل الأول

الطاقــة النوويــة

Nuclear Energy

الفصل الأول

الطاقة النووية

Nuclear Energy

1-1 مقدمة Introduction :

ماهي الطاقة النووية :

الطاقة النووية هي الطاقة التي تنطلق أثناء إنشطار أو إندماج الأنوية الذرية. تشكل الطاقة النووية 16% من الطاقة المولدة بالعالم ، العلماء ينظرون إلى الطاقة النووية كمصدر حقيقي لا ينضب للطاقة، وما يثير الشكوك حول مستقبل الطاقة النووية هو التكاليف النسبية، والمخاوف العامة المتعلق بالسلامة، وصعوبة التخلص الآمن من المخلفات عالية الإشعاع.

1-2 تاريخ إستخدام الطاقة النووية:

بدأت قصة الطاقة النووية عام 1896 عندما أكتشف العالم الفرنسى البروفيسور بيكويل أن عنصر اليورانيوم يشع أشعة شبيه بأشعة إكس وفى عام 1898 أى بعد عامين من إكتشاف الراديوم ، وقد إستطاعا إستخلاص جزء ضئيل من هذا العنصر يكاد يكون فى حجم الحبة الصغيرة وذلك من طن من خام اسمه بتش بلند.

فى بداية القرن العشرين إكتشف العلماء أن الطاقة التى تولد من الراديوم عبارة عن مجموعه مختلفة من الإشعاعات، بعضها أشعة كالتي تولد من أنبوبه أشعه إكس

والجزء الباقي يتكون من دقائق، ثم توصلت الأبحاث إلى أن هذه الطاقة كانت نتيجة لإنقسامات داخلية فى ذرة الراديوم.

وبدأ التفكير فى تصميم الأجهزة التي تستطيع إطلاق طاقة هائلة نتيجة تحطم ذرات العناصر المختلفة وتشتهر السنوات مابين 1920–1932بتصميم بعض هذه الأجهزة ، كان من أهمها مثلا الجهاز المسمى بالسيكلوترون.

وفي سنة 1939 إكتشف العلماء نوعا معينا من عنصر اليورانيوم ، أطلقوا عليه اسم اليورانيوم 235 فكان إكتشاف بالغ الأهمية ، فقد لاحظوا بأنه بأنقسام ذرة هذا العنصر تتولد لنا طاقة هائلة ، ولكن المشكلة متجسمه حينئذ فى كيفية فصل أو تكوين اليورانيوم 235 من عنصر اليورانيوم العادي.

وفى سنة 1940 كانت هناك كمية ضئيلة من اليورانيوم 235 فى جامعة كولومبيا بامريكا، حوالى1/مليون من الجرام، إستغرق تحضيرها أكثر من مائة ساعة ، وإنحصرت المسألة فى كيفية الإسراع فى تحضير هذه المادة أو الاستعاضة عنها بمادة أسهل في التحضير على أن تعطينا هى الأخرى طاقة كبيرة.

إن هناك مشاريع كبيرة حول العالم لا يمنعنا من البدء فيها إلا تكاليفها الباهظة فليس من المستحيل عمليا تكييف هواء مدينة بأسرها، أو تجفيف بحر أو زراعة صحراء

بأكملها، وإنما يمنعنا عن فعل هذا هو الكميات الضخمة من الفحم أو الكهرباء التى تلزم هذه المشاريع إذا إستخدمنا الطاقة الذرية.

في القرن القادم وباستخدام الطاقة الذرية ربما يسهل تحويل معدن رخيص إلى ذهب ، وقد إستطاع العلماء قبل الحرب العالمية الثانية، أن يحولوا ذرات عنصر إلى عنصر آخر، فقد أمكن تحويل الكربون مثلا إلى اوكسجين أو ازوت وسياتى اليوم الذي يمكن القيام بهذه الأعمال فى نطاق واسع.

بإستخدام الطاقة الذرية في المستقبل ربما أمكن تجفيف مياه البحار، هاهو ذا كشف باهم الأملاح والمعادن التي نتجت من تخفيف مكعب واحد من مياه البحر.

1-3 محطات القدرة النووية (Nuclear Power Stations):

إحتياجات الطاقة لأى دولة لايمكن أن تقابل من مصدر منفرد فمحطات الكهرباء الهيدرو تنتج طاقة رخيصة ولكنها تحتاج تدعيم حراري لزيادة السعة المستقرة. واحتياطيات العالم من الفحم تنضب سريعا، والطاقة النووية هي المصدر الوحيد الذي يستطيع تغطية طلبات الطاقة المستقبلية للعالم ، والمزايا الرئيسية التى تمتلكها وحدات القدرة النووية هي:

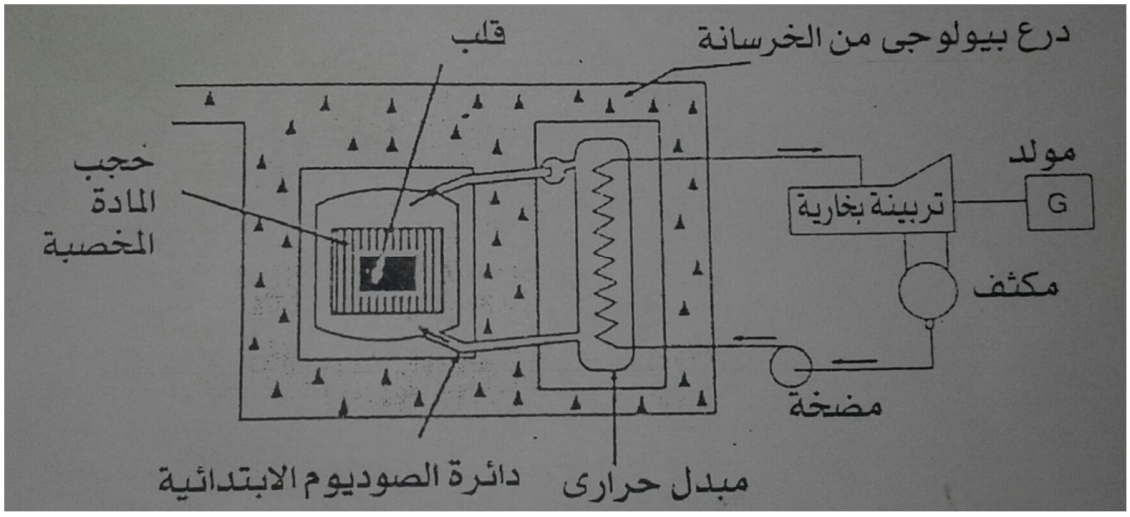
1. كمية الوقود المستخدم صغيرة،ولذلك فتكلفة الوقود منخفضة .

2. تحتاج الوحدات النووية لمساحة أقل من وحدات البخار التقليدية فالمحطة النووية 200mw تحتاج حوالي 80 فدان بالمقارنة بحوالي 250 فدان لمحطة بخارية تعمل بالفحم 2000mw.
3. وحيث أن كمية الوقود المطلوبة صغيرة فلا توجد مشاكل لنقل أو تخزين الوقود.
4. إنتاج القدرة النووية المتزايد أدى إلى الحفاظ على بقاء مصادر الفحم ، البترول الخ، والتكاليف الرأسمالية الابتدائية للوحدات النووية تكون مرتفعة جدا ، ويتملك عدد قليل من دول العالم تكنولوجيا تضيع المفاعلات النووية والوقود النووي وبالرغم من ذلك، فمن المحتمل أن تمد الطاقة النووية أجزاء أكبر وأكبر من إحتياجات العالم المستقبلية من القدرة.

1-3-1 الأجزاء الرئيسية لوحدة توليد نووية:

تتكون الوحدة النووية من مفاعل نووي (لتوليد الحرارة) مبدل حراري (لتحويل الماء إلى بخار بإستخدام الحرارة المتولدة فى المفاعل)، تربينة بخارية، مولد تيار متتردد،مكثف...الخ وهكذا تكون مماثلة لمحطة البخار فيما عدا إن المفاعل النووي والمبدل الحراري يحلان محل الغلاية وهكذا فان بعض الملحقات تكون مماثلة لتلك الموجودة فى وحدة البخار.

وكما فى وحدة البخار حيث يكون الماء المتبخر نظام تغذية مغلق؛ ويجب حماية وتدريع المفاعل ودائرة التبريد بكثافة لمنع أخطار الإشعاع ، يبين شكل (1) الأجزاء الرئيسية لوحدة قدرة نووية.



1-3-2 مزايا وعيوب توليد القدرة النووي:

المزايـا:

الوقود النووي غير مكلف، أكثر وفرة من الوقود الحفري، وسهل النقل ، الطاقة المولدة أكثر كفاءة والفضلات المتبقية مدمجة. المفاعلات النووية تحتاج لقليل من الوقود ويجب أن تتغير مرة واحدة كل ثلاث سنوات.وكمية البقايا والنفايات المنتجة أصغر بملايين المرات من حجم النفايات المنتجة من وحدات حرق الفحم، والمفاعلات النووية آمنة مقارنة بطرق الوقود الحفري ، وكل عام يموت حوالى 50000 نسمة بسبب

أمراض الجهاز التنفسى فى أمريكا بسبب حرق الفحم، وفرصة حدوث حادث نووي بسبب هذا النوع من التدمير للحياة البشرية هي واحد في كل 250سنة، وفى الغالب فهو مصدر نظيف للطاقة لأنه لا يساهم فى التلوث أو الأمطار الحمضية.

العيوب:

بالرغم من أن تكلفة الوقود منخفضة، ألا أن التكلفة الفعلية لإنتاج الطاقة تكون أعلى من الصور الأخرى للطاقة بسبب الطوارئ الحاوية، وأنظمة تخزين النفايات المشعة، والنفايات عالية مستوى الإشعاع يجب أن تخزن بإستمرار فى حاويات تحت الأرض، ويجب أن تبقى عميقا تحت سطح الأرض لملايين السنين حتى تفقد إشعاعيتها.

وغالباً ما يستخدم اليورانيوم والثوريون كوقود فى المفاعلات النووية ، يمكن أن تسبب عمليات إستخراج اليوانيوم نفسه مشاكل خطيرة فى البيئة وللبشر الذين يعشون بالقرب من موقع الإستخراج ، فأثناء الإستخراج تنفخ كميات كبيرة من الهواء ملوثة بالرادون والتراب إلى الهواء المفتوح مما يزيد من تركيز مستويات الرادون، وحينئذ يزداد معدل إصابة الرئة بالسرطان فى تلك المساحات، ويلوث الماء الجوفي من المناجم الأنهار والبحيرات.

إنصهار المفاعل لا يسبب خطر فوري شديد فقط بل إنه يمكن أيضا أن يلوث المساحات لسنوات عديدة بعد الكارثة ، وتزداد الإصابة بالسرطان الدرقي Cancer Thyroid مع كثير من المشاكل الصحية الخطيرة التي تصاحب الإنصهار النووي، ويمكن أن تحتوى المحاصيل التي تنمو فى المساحات على مستويات عالية من العناصر المشعة ، ولن تخلو تجمعات الأسماك فى البحيرات القريبة من الإصابة، وهناك فرضية تنص على أنه حتى التشغيل السليم للمفاعل يمكن أن يبعث بمستويات ضارة من النشاط الإشعاعي إلى السكان المتواجدين فى المساحة المحيطة .

1-4 إقتصاديات القدرة النووية:

1. القدرة النووية تنافس باقي أشكال توليد الكهرباء فى التكلفة ، فيما عدا في المناطق المتواجد بها مدخل مباشر للوقود الحفري منخفض التكلفة .
2. التكلفة المنخفضة للوقود الحفري في العقد الماضي أقل من التكلفة السابقة للقدرة النووية فى كثير من الدول .
3. تكاليف الوقود للوحدات النووية هي النسبة الأدنى من تكاليف التوليد الإجمالية وغالبا ماتكون ثلث تكاليف الوحدات المشغلة بالفحم .
4. عند تقدير مدي تنافس الطاقة النووية يجب أن تأخذ فى الإعتبار تكاليف التخلص من النفايات.

التكاليف بالنسبة لتوليد الكهرباء من الفحم والغاز والوحدات النووية تختلف بإختلاف الموقع وسيبقى الفحم جذابا إقتصاديا فى دول مثل الهند ، والصين ، وأستراليا مع مصادر الفحم الوفير سهلة المنال.

والغاز أيضا منافس لقدرة الحمل الأساسي في أماكن كثيرة خاصة مع وحدات الدورة المشتركة .

والطاقة النووية في كثير من الأماكن تنافس الوقود الحفري في توليد الكهرباء ، بالرغم من التكاليف الرأسمالية أقلها هي الطاقة النووية (0.4) وتساوي الهيدرو تقريبا يليها الفحم ثم الغاز ويستثنى من ذلك طاقة الرياح وهي أفضل من النووية.

1-5 إختيار الموقع لوحات توليد القدرة النووية:

يوجد العديد من العوامل، التي تؤخذ فى الإعتبار عند إختيار موقع محطة القدرة النووية ، وإختيار الموقع يماثل محطة القدرة الحرارية حيث يستخدم الماء كمائع تشغيل أي بخار:

1. مدى إتاحة الماء:

كما فى محطات القدرة البخارية ، تتطلب محطات القدرة النووية كمية وافرة من المياه للتبريد وتوليد البخار.

2. التخلص من النفايات:

وهي إحدى أهم الإعتبارات فى محطة القدرة النووية بسبب النفايات والبقايا الخطيرة للمواد النووية ، ومن هنا مطلوب عناية زائدة بهذا الخصوص .

تخزين النفايات، والتي يجب التخلص منها فى عمق الأرض فى البحر حتى نمنع تأثيرها الإشعاعي .

3. البعد عن المساحات المأهولة بالسكان:

بالرغم من وجود آمن محكم دائم ألا أنه توجد فرصة للنشاط الإشعاعي، والذي يؤثر على صحة البشر.لذلك يجب أن يكون الموقع بعيدا عن المساحات المكتظة بالسكان .

4. القرب من مركز الحمل:

حيث أن مطالب التخزين أقل مقارنة بوحدات الفحم. فمن المفضل تشييد وحدة القدرة النووية بالقرب من مراكز الحمل حتى تكون تكلفة نقل الطاقة أقل ما يمكن.

5. عوامل أخرى:

سهولة الوصول إلى الطرق والسكك الحديدية هي إعتبارات عامة لكل وحدات القدرة حيث يجب نقل المعدات الثقيلة إلى الموقع أثناء الإنشاء ، ومطلوب نقل الوقود وأيضا من المناجم أثناء التشغيل .

الفصل الثاني

التفاعـــلات النوويـــة

Nuclear Reactions

الفصل الثاني

التفاعلات النووية

Nuclear Reactions

2-1 مقدمةIntroduction:

من الملائم بالنسبة الي الظروف المتوافرة أن نصنف التفاعلات النووية إعتماداً على نوع الجسيمة الساقطة (القذيفة) أو وفقاً الي طاقة القذيفة أو نوع نواة الهدف او ان تصنيف وفقاً إلى نواتج التفاعل فيمكننا في الحالة الأولى أن نصنف التفاعلات النووية إلى ما يأتي:

1- تفاعلات الجسيمات المشحونة Charged-Particle Reactions:

هذه ناتجة عن استخدام جسيمات مشحونة كقذائف لاحداث التفاعلات النووية ومثال على هذه الجسيمات هي p , d , a , C^{12}, O^{16} حيث أن:

P = برونون $_1^1H$

D = ديوترون $(_1^2H)$

α= جيسمة ألفا $(_2^4H)$

أن التفاعلين الأخيرين اي تفاعل ايونات الكربون والأوكسجين يسميان بتفاعلات الأيونات الثقيلة .

2- تفاعلات النيوترونات :

وفي هذا النوع من التفاعلات تمثل النيوترونات القذيفة التي تسبب التفاعل.

3- التفاعلات النووية الضوئية الناتجة عن تفاعل أشعة جاما مع مكونات النواة:

وفي هذا النوع من التفاعلات تقوم أشعة جاما بنقل طاقتها إلى جسيمات النواة.

4- التفاعلات المحفزة بالالكترونات:

وهي اعتماد طاقة القذيفة أساساً لتصنيف التفاعلات النووية لذلك فإن الجسيمات الساقطة يمكن أن تصنف وقاً إلى طاقتها ونتائج هذه التصنيفات هي:

1. الطاقة الحرارية = 0.025eV
2. الطاقات فوق الحرارية = 1eV
3. طاقة النيوترونات البطيئة = 1keV
4. طاقة النيوترونات السريعة =MeV (0.1-10)
5. الطاقات الواطئة للجسيمات المشحونة = MeV(0.1-100)
6. الطاقات العالية =MeV (10-100)

كما يمكن تقسيم نوي الهدف وتصنيفها في أي تفاعل نووي كما ياتي:

1. النوي الخفيفة $(A \leq 40)$
2. النوي المتوسطة$(40 < A < 150)$

3. النوي الثقيلة $(A \geq 150)$

اذا كان الجسم الخفيف الناتج عن التفاعل مشابهاً للقذيفة من حيث النوه وطاقة مركز الثقل فان التفاعل في هذه الحالة يسمي الاستطارة المرنة، وإذا كام ناتج التفاعل فوتون فان التفاعل يسمي بتفاعل الاتتناص وفي حالة كون نواتج التفاعل ذوات كتل متقاربة فان التفاعل يسمي تفاعلا انشطارياً ولتوضيح ذلك فاننا نذكر الامثلة الاتية:

الاستطارة المرنة للبروتون:

$$N^{14}(p,p)N^{14}$$

الاستطارة غير المرنة للبروتون:

$$N^{14}(p,\bar{p})N^{14*}$$

حيث N^{14*}، يعني ان النواة تخرج بحالة متهيجة (ليست بحالتها الارضية) تفاعل:

$$(p,\alpha)$$

$$N^{14}(p,\alpha)c^{12}\ orc^{12*}$$

$$or_N{}^{14}(p,d)c^{12*}$$

تفاعل اقتناص البروتون:

$$N^{14}(p,\Upsilon)o^{15}$$

$$or_N{}^{15}(p,\Upsilon)o^{15*}$$

التفاعل النووي الضوئي:

$$N^{14}(\Upsilon,p)c^{13}$$

$$or_N{}^{15}(\Upsilon,p)o^{13*}$$

تفاعل التشظي:

$$N^{14}(n,Li^{6})Be^{9*}$$
$$orN^{14}(n,Li^{6})Be^{9*}$$

تفاعل الأيونات الثقيلة:

$$B_e^a(li^{6},\mathrm{n})N^{14}$$

$$or_{B_e^a}(li^{6},\mathrm{n})N^{14*}$$

2-2 النواة المركبة:

من الأمور المهمة في التفاعلات النووية هي أن القذيفة والهدف تشكلات نواة جديدة متهيجة تسمي بالنواة المركبة اي النواة المركبة تعيش لفترة زمنية معينة غالبا ما تكون قصيرة وتكون في مستوي متهيج ثم تنحل بعد ذلك إلى مكونات جديدة لا علاقة لها بتكوينها إن الزمن العمري الذي تعيشه النواة المركبة غالباً ما يكون بحدود

(10^{-6}sec) وهذا العمر القصير للنواة المركبة يؤدي الى عدم التمكن من الكشف عنها بطرق مباشرة وهنا لابد من طرح سؤال مهم هو كيف لنا أن نعرف أن النواة المركبة قد تكونت، فقد تكون الجسيمة قد مرت مروراً في النواة الأصلية ولم تتكون النواة المركبة أصلاً ؟ الجواب على هذا السؤال هو أن الجسيم عندما يمر مرور في النواة يستغرق وقتاً أقصر بكثير من الزمن المذكور في أعلاه وهذا الزمن هو (10^{-21}sec).

إن إنحلال النواة المركبة لا يعتمد عل طريقة تكوينها (حيث أن النواة المركبة عديمة الذاكرة ولا تتذكر كيف تكونت).

هنالك العديد من التفاعلات المختلفة والتي قد تعطي نفس النواة المركبة، كما وأن هناك نوع واحد من النوى المركبة قد تعطي نواتج مختلفة وهذا كله يعتمد على مبدأ الاحتمالية في كيفية الإنحلال ومثال عن ذلك هي الطرق المختلفة في تكوين وإنحلال النواة المركبة المتهيجة $[^{20}_{10}Ne]^*$ كما في التفاعلات الاتية:

$$\left.\begin{matrix} {}^{19}_{9}F + P \\ {}^{17}_{8}O + n \\ {}^{16}_{8}O + a \\ {}^{17}_{7}N + {}^{6}_{3}li \\ {}^{12}_{6}C + {}^{8}_{4}Be \\ {}^{10}_{5}B + {}^{10}_{5}Be \end{matrix}\right\} \rightarrow [{}^{20}_{10}Ne] \rightarrow \left\{\begin{matrix} {}^{19}_{9}F + P \\ {}^{20}_{10}Ne + n \\ {}^{18}_{9}F + d \\ {}^{17}_{9}F + t \\ {}^{19}_{8}F + n \\ {}^{16}_{8}O + a \\ {}^{14}_{7}N + {}^{6}_{3}li \\ {}^{13}_{7}N + {}^{7}_{3}li \\ {}^{12}_{6}C + {}^{8}_{4}Be \\ {}^{11}_{6}C + {}^{8}_{4}Be \\ {}^{10}_{5}B + {}^{10}_{5}B \\ {}^{9}_{5}C + {}^{11}_{5}B \end{matrix}\right.$$

2-3 تفاعل الإنشطار النووي:

أن أحد اهم التفاعلات النووية هو الإنشطار النووي والذي يمر بمرحلة تكوين النواة المركبة من خلال عملية امتصاص نيوترون من قبل النوى التي يكون لها عدد كتلي عالي نسبيا $(A > 230)$.

العديد من هذه النوى المركبة (المتهيجة) سوف تنقسم إلى شظيتين متوسطتي الكتلة إضافة إلى خروج عدد من النيوترونات تترافق مع هذا الإنقسام ، وهذا النوع يسمي بالإنشطار النووي.

في المفاعل النووي، نجد أن المعدل الزمني للإنشطارات(عدد الإنشطارات لوحدة الزمن) يتم السيطرة عليها من خلال إمتصاص النيوترونات الفائضة بحيث يتم ترك نيوترون واحد من كل إنشطار لتقوم بعملية إنشطار جديدة ، أما إذا كانت الإنشطارات

غير مسيطر عليها فإن عدد الإنشطارات سوف تزداد بشكل سريع ومذهل مما سيؤدي إلى تحديد طاقة هائلة خلال فترة زمنية قصيرة جداً وهذا ما يدعي بالإنفجار النووي.

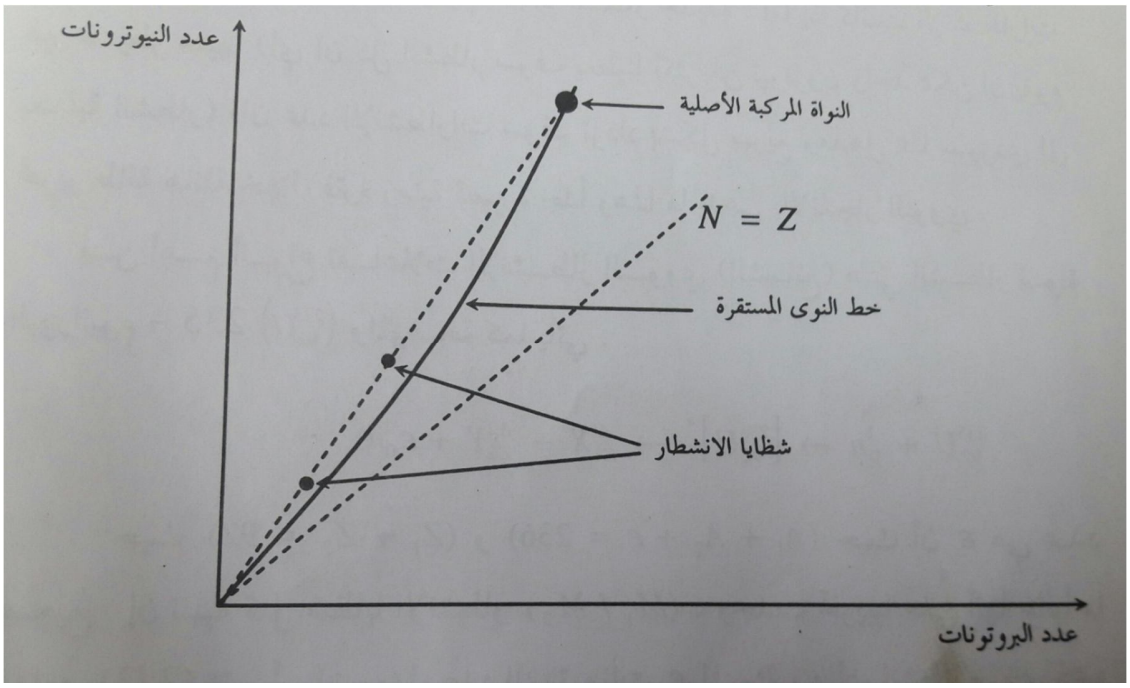
من أهم أنواع تفاعلات الإنشطار النووي الشائع هي إنشطار نواة اليورانيوم $\left({}^{235}_{42}U\right)235$ والموضحة كما يأتي:

$$U_{92}^{235}+n_0^1 \rightarrow [U_{92}^{236}] \rightarrow X_{Z1}^{A1} + Y_{Z2}^{A2} + \varepsilon n_0^1$$

حيث $(z_1+z_2=92)$ و $(A_1+A_2+\varepsilon =236)$ حيث أن ε هي عدد صحيح إن نسبة كتل شظايا الإنشطار (m_1,m_2) وجدت تجريبيا على إنها غالباً ما تساوي(2/3) تقريبا إن معدل عدد النيوترنات ε المنبعثة من أي إنشطار نووي يتغير مع طبيعة الإنشطار ونوع شظايا الإنشطار الناتجة من التفاعل الإنشطاري الموضح في المعادلة أعلاه ، فإن ع تساوي تقريباً 2.44 ، حيث إن الكسر في هذا الرقم ناتج عن أننا نتعامل مع المعدل الناتج عن عدد كبير من الإنشطارات.

إن شظيتي الإنشطار عادة ما تمتلكان نسبة (نيوترون–بروتون) (N/z) مساوية تقريبا لما كان موجود في النواة الأصلية الأم قبل الإنشطار ولهذا السبب نجد أن شظايا الإنشطار تقع فوق خط الإستقرارية وفي منطقة تكون فيها النوى الجديدة (شظايا الإنشطار) غنية بالنيوترونات كما يظهر في الشكل(2)، عليه نجد أن هذه النوى تعطي جسيمات بيتا .

في الحقيقة سنلاحظ أن هذه النوى الجديدة سوف تقوم بسلسلة إنحلالات لإعطاء جسيمات بيتا وكل إنحلال سوف يقلل من نسبة (N/z) الأمر الذي سيؤدي بالنهاية إلى إستقرار هذه النوى الجديدة.



توزيع شظايا الانشطار وبعدها عن خط الاستقرارية(2)

إن الإنشطار النووي يحرر طاقة مقدارها تقريبا (200MeV) لكل إنشطار، وهذه الطاقة تعتبر كبيرة جداً قياساً بالطاقات المتولدة عن جميع التفاعلات النووية الأخرى بإستثناء الإندماج النووي الذى سنتطرق إليه لاحقاً ،هذه الطاقة بشكل عام

تتوزع كما ياتي:

1. (170MeV) كطاقة حركية لشظايا الإنشطار.
2. (5MeV) تعطي كطاقة حركية لنيوترونات الإنشطار.
3. (15MeV) طاقات جسيما بيتا$(-\beta)$ واشعة جاما (γ) المنبعثة في الإنشطار.
4. (10MeV) طاقة النيوترينو المتولد عن خروج جسيمات بيتا $(-\beta)$من شظايا الإنشطار.

4-2 تفاعل الإندماج النووي:

مثلما يرى إسم هذا التفاعل فهو عبارة عن إندماج نويتين أو نواتين ذات عدد كتلى قليل(A<20) لتكوين نواه أثقل مع تحرر طاقة، أحد الأمثلة على تفاعل الإندماج النووي هو تكوين نواة الديتيريوم (^2_1H) من إندماج نيوترون و بروتون مع تحرر طاقة مقدارها (Q=2.23mev) وكما يلي:

$$^1_1H + ^1_0n \rightarrow ^2_1H$$

تفاعل آخر من تفاعلات إندماج النووي هو تكوين جسيمة ألفا ^4_2He من خلال إندماج نواتي ديتيريوم ، مع تحرير طاقة مقدارها (Q=23.8MeV) وكما يظهر في معادلة الإندماج الآتية :

$$^2_1H + ^2_1\mathrm{H} \rightarrow ^4_2\mathrm{He}$$

بالرغم من أن الطاقات المتحررة من هذه التفاعلين أقل من طاقة الإنشطار

النووي والتي تقدر بحوالي (Q=200MeV)، إلا أن هذه الطاقة نسبة إلى الكتل المتفاعلة تكون أكبر بكثير.

إن فكرة تحرير الطاقة بواسطة الإندماج تعتمد على مبدأ أن النوى الخفيفة تزيد من معدل الطاقة الرابطة (الطاقة الرابطة للنوية الواحدة) بزيادة عددها الكتلي (A) إلى أن تتكون نواة لها عدد كتلي أكبر من النوى السابقة المكونة لها.

وهنا لابد من الإشارة إلى أنه كلما زادت الطاقة الرابطة فإن الكتلة السكونية سوف تقل، وبهذا فإن الطاقة السكونية الضائعة سوف تتحرر على شكل طاقة.

وهناك بعض أنواع الإندماج النووي تكون ملائمة للتعامل معها في المجالات العملية ومنها:

أولاً: إندماج نواتي ديتيرويوم (^2_1H) لتكوين نواة ^3_2He وخروج نيوترون مع تحرير طاقة مقدارها (Q=3.27MeV) وكما يلي:

$$^2_1H(d,n)^3_2He$$

وقد يتحرر بروتون من هذا التفاعل بدلاً من النيوترون مما يؤدي إلى إختلاف كمية الطاقة المتحررة (Q=4.03MeV) وخروج (^3_1H) وكما يلي:

$$^2_1H(d,P)^3_1H$$

ثانياً: تفاعل الإندماج النووي الثاني والسائد هو تفاعل نواة الديتيريوم مع نواة

التريتيوم لتكوين نواة الهيليوم مع تحرير طاقة مقدارها (Q=17.59MeV) وكما يلي :

$$^{3}_{1}H(d,n)^{4}_{2}He$$

في النجوم تحدث سلسلة من عمليات الإندماج النووي إحدي هذه السلاسل معروفة بإسم دورة الكربون والتى يمكن توضيح مراحل تفاعلاتها كما يلي :

$$P + {}^{12}_{6}C \rightarrow {}^{13}_{7}N \downarrow, {}^{13}_{7}N \longrightarrow {}^{13}_{6}C + e^{+} + v$$

$$P + C^{13}_{6} \rightarrow {}^{14}_{7}N$$

$$p + {}^{14}_{7}\mathrm{N} \rightarrow {}^{15}_{8}\mathrm{o} \downarrow \mathrm{o}^{15}_{8} \rightarrow {}^{15}_{7}\mathrm{N} + \mathrm{e}^{+} + \mathrm{v}$$

$$p + {}^{15}_{6}N \rightarrow {}^{12}_{6}c + {}^{4}_{2}He$$

ولحساب الطاقة المتحررة من كل هذه التفاعلات يمكن حساب الطاقة الناتجة من كل تفاعل على إنفراد، ولكن يمكن جمع هذه التفاعلات وإضافها الى بعضها للحصول على الطاقة الكلية المقررة وكما يلي:

$$(P + C^{12}) + (N^{13}) + (P + c^{13}) + (P + N^{14}) + (O^{15}) + (P + N^{15}) \longrightarrow$$

$$(N^{13}) + (C^{13} + e^{+} + v) + (N^{14}) + (O^{15}) + (N^{15} + e^{+} + v) + (C^{12} + H^{4}e)$$

بعد إلغاء الحدود المتشابهة من طرفي هذه المعادلة نحصل على:

$$4\mathrm{p} \rightarrow \mathrm{He}^{4} + 2\mathrm{e}^{+} + 2\mathrm{v}$$

وهذا يعني جميع التفاعلات الموضحة في أعلاه تكون مكافئة الى عملية إندماج أربعة بروتونات في نواة هيليوم.

2-5 اليورانيوم Uranium :

هو المادة الأساسية الخام للمفاعلات النووية، إكتشفه الكيميائي الألماني مارتن كلابروس في عام 1789م، حيث وجده في البتشبلند، وهو معدن داكن، أسود مزرق اللون، وقد سمى كلابروس اليورانيوم على إسم كوكب أورانوس، الذي كان قد أكتشف في عام 1781م وهو مصدر الطاقة الكهربائية فى كل محطات القدرة النووية الكبيرة.

وفي عام 1841م فصل الكيميائي الفرنسي يوجين بليجو اليورانيوم النقي من البتشبلند.

الوزن الذري لليورانيوم الطبيعي 238.0289 وكثافته عند 25°م هي 19.05جم لكل سنتيمتر مكعب أي أن 1 متر مكعب من اليورانيوم يزن نحو 20 طن! فهو من أثقل المعادن الموجودة في الطبيعة ينصهر اليورانيوم عند1.132°م، ويغلي عند 3.818°م، ويتحد اليورانيوم بسهولة مع العناصر الأخرى، ولذلك يكون بشكل أوكسيد أو كربونات أو فوسفات أو فلوريد أو كبريتات. يتفاعل اليورانيوم مع الأحماض مكونًا مركبات تسمى أملاح اليورانين. ويوجد في الطبيعة عادة مكونًا مركبات مع الأكسجين، وفي معظم المياة السطحية والجوفية فقد يكون اليورانيوم ناتج عرضي لبعض الصناعات كما في صناعة الاسمنت الفوسفاتية.

الشكل عنصر اليورانيوم رقم (3)

يستخلص اليورانيوم بثلاث طرق أساسية:

1. التعدين المحلولي المكاني.
2. التعدين المكشوف.
3. التعدين الأرضي.

2-5-1 تخصيب اليورانيوم Uranium Enrichment :

عملية التخصيب عبارة عن عزل نظائر محددة من عنصر ما لغرض زيادة التركيز، فمثلا تعزل نظائر اليورانيوم −235 من اليورانيوم الطبيعي للحصول على اليورانيوم المخصب والنظير المتبقى من الفصل يسمى باليورانيوم المنضب، وتتم عملية التخصيب على مراحل تعزل فى كل مرحلة كميات أكبر من النظائر الغير مرغوبة حيث

يزداد العنصر تخصيباً بعد كل مرحلة حتى الوصول إلى نسبة النقاء المطلوبة وعادة ما تكون نسبة التخصيب قليلة للمفاعلات وكبيرة للسلاح النووي، اليورانيوم المخصب عبارة عن يورانيوم تمت زيادة نسبة نظائر اليورانيوم–235 فيه.

2-5-2 أهم طرق التخصب:

1. التخصيب بطريقة الانتشار الغازي.
2. التخصيب بطريقة الطرد المركزي.
3. طريقة التدفق النفاث "الديناميكيه الهوائيه".
4. التخصيب الكهرومغناطيسي.
5. التخصيب بطريقة الليزر.

أولاً: التخصيب بطريقة الانتشار الغازي Gaseous Diffusion Enrichment :

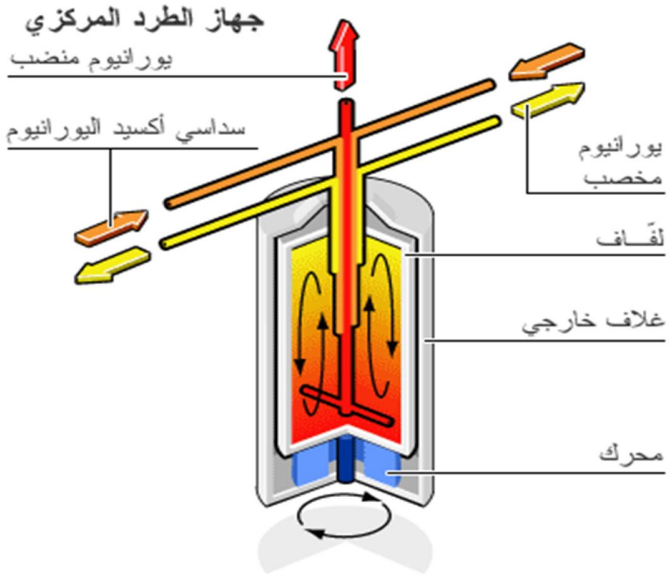
تعتمد على الاختلاف البسيط في الانتشار خلال غشاء شبه منفذ بين سادس فلوريد اليورانيوم–235(U235F6) وسادس فلوريد اليورانيوم – 238 (U238F6)

حيث تضخ جزيئات سادس فلوريد اليورانيوم خلال حواجز تحتوي على ملايين الثقوب الدقيقة.

تمر جزيئات الغاز الخفيفة (تحتوي الجزيئات الخفيفة على ذرات اليورانيوم 235) عبر ثقوب الحواجز أسرع من الجزيئات الثقيلة ولذلك يحتوي الغاز الذي يمر عبر

الحاجز على نسبة من اليورانيوم 235 أعلى من الغاز الأصلي. ونظرًا لأن هذه الزيادة طفيفة جدًا فإن الغاز يجب أن يمر عبر الحاجز عدة آلاف مرة لإنتاج اليورانيوم المخصب الذي يراد استخدامه في محطات القدرة النووية.

ثانياً: التخصيب بطريقة الطرد المركزي Centrifuge Enrichment:



الشكل رقم (4)

يتكون جهاز الطرد المركزي من غلاف اسطواني مفرغ من الهواء تدور بداخله اسطوانة بسرعة كبيرة وهذه الاسطوانة تدور تقريبا دون اي احتكاك بواسطة محرك كهربائي من الاسفل ومغناطيس قوي من الاعلى.

فهو عبارة عن أسطوانات عمودية ذات حركة دوامية سريعة. ويضخ غاز سادس فلوريد اليورانيوم في كل أسطوانة عبر أنبوبة عمودية ثابتة داخل كل أسطوانة. وتجبر الحركة الدّوامية للأسطوانة كل الغاز الخارجي تقريبًا في اتجاه الجدران المنحنية. وبالإضافة إلى ذلك، تساعد مغرفة متصلة بقاعدة الأنبوبة الثابتة في انسياب الغاز عموديًا، كما تساهم الفروق في درجات الحرارة داخل الأسطوانة في إحداث هذا الانسياب العمودي.

بسبب هذه التأثيرات (الحركة الدّوامية للأسطوانة وحركة المغرفة وفروق درجات الحرارة) ينساب الغاز بنمط معقد، ويصبح الغاز القريب من قاعدة الأسطوانة مركزًا باليورانيوم 238 أكثر من الغاز العلوي. وتزيل المغرفة السفلية النفايات الغازية، التي تحتوي على تركيزات أعلى نسبيًا من اليورانيوم 238، بينما تزيل المغرفة العلوية الغاز المخصب الذي يحتوي على اليورانيوم 235 بتركيز أعلى. وتتكرر العملية حتى يتم الحصول على التركيز المطلوب من اليورانيوم 235.

ثالثاً: طريقة التدفق النفاث "الديناميكية الهوائية" Aerodynamics Enrichment:

في هذه العمليه يضغط خليط من غازي UF_6 والهالوجين أو الهيليوم وبعد ذلك توجه على طول جدار مقوس بسرعه عاليه جزيئات اليورانيوم 238 الأثقل تتحرك بشكل تفصيلي خارج الجدار نسبه إلى جزيئات اليورانيوم 235 التي تتحرك نحو الداخل. وفي

نهاية الإماله تقسم حزمة الغاز بواسطة طرف حاد الى جزء خفيف وآخر ثقيل والتي يتم فصلها وسحبها نحو الخارج.

رابعاً: التخصيب الكهرومغناطيسي Eiectromagnetic Enrichment:

الأساس الفيزيائي لهذه العملية مشابه لأساس عمل مطياف الكتلة أي أن الجسيمات المشحونة تسلك مسار دائريا عند مرورها في مجال مغناطيسيي منتظم. أساس هذه الطريقة هو الفصل الكهرومغناطيسي والتي تتضمن ثلاث أجزاء رئيسية وهي:

1. مصدر لتأين اليورانيوم.
2. منظومة لتعجيل الأيونات.
3. مغناطيس لتوليد مجال مغناطيسي لفصل الأيونات.

كل من أيوني لهما نفس الطاقة الحركية ونفس الشحنة ولكن بكتل مختلفة فيكون مسارها مختلفا ؛فالأيونات تنحرف بقطر كبير والفرق في الأقطار والمسار الأيوني لليورانيوم يسمح بفصل وجمع المادتين في المستودع المخصص هذه الطريقة يمكن بواسطتها الحصول علي يورانيوم عالي التخصيب من النوع المستخدم في السلاح النووي.

خامساً: التخصيب بطريقه االليزر Laser Enrichment:

هذه الطريقة مازلت في طور التجريب والإختبار، وفيها تُستخدم توليفة من ضوء الليزر وشحنة كهربائية لفصل نظائر اليورانيوم.

نستخدم شعاع ليزر ذي طاقة معينة (طول موجي معين) على إثارة ذرات معينة (ذرات اليورانيوم 235 وليس 238) ومن ثم إنتاج إيونات ينتج عنها تحلل أو إلتحام كيميائي لذرات اليورانيوم أو جزيئات سادس فلوريد اليورانيوم.

ومن ثم يتم فصل نظيري اليورانيوم (الإيونات) عن بعضها البعض بطرق كهرومغناطيسية .حيث أن نواة اليورانيوم −235 تختلف عن نواة اليورانيوم −238 فإن ذلك ينتج عنه إختلاف في التركيب الإلكتروني لإلكترونات كل منهما. ومن ثم يتوقع إختلافا – وإن كان طفيفا – في المدارات الإلكترونية.

مما ينتج عنه الأنقسام الدقيق . إذا ما تم توجيه شعاع ليزر ذي طاقة محددة إلى مزيج من النظيرين. فإن هذا الشعاع يمكنه تأين –إثارة – أحدهما دون الآخر. ومن ثم يمكن فصل النظيرين بطرق فيزيائية أو كيميائية تقليدية.

الفصل الثالث

المفاعـــلات النوويـــــة

Nuclear Reactors

الفصل الثالث

المفاعـلات النووية

Nuclear Reactors

3-1 مقدمة:

منذ أن أنشئ أول مفاعل نووي فإن تطوراً سريعاً قد حدث في هذا المجال حيث بلغ عدد أنواع المفاعلات خلال السنوات القليلة عدة مئات منذ بداية صناعة المفاعلات ، وقد تعددت أنواعها بشكل كبير وذلك لتعدد الأغراض ذاتها التي تبني من أجلها المفاعلات .

يعتمد تصميم المفاعل أولاً وقبل كل شيء على الغرض المطلوب أو الهدف من بناء المفاعل، فهنالك مثلاً مفاعلات إنتاج الطاقة وتحويلها إلى طاقة كهربية، وهو الغرض الأسمى من تشييد المفاعل النووي ويراعى في تصميمها أن تعطي طاقة رخيصة مع الأخذ في الإعتبار المدة الطويلة التى يكون خلالها المفاعل صالحا للعمل، وهذا ما تسعى إليه معظم الدول النووية العظمى .

3-2 المفاعل النووي:

المفاعلات النووية عبارة عن منشآت تستخدم لأغراض الحصول على الطاقة الكهربائية أو تحويل عناصر كيميائية معينة إلى عناصر أخرى ذات أنشطة إشعاعية

تستخدم للتطبيقات الطبية أو الصناعية أو البحوث النووية.

المفاعل منظومة تولد وتسيطر على إنبعاث الطاقة من إنشطار الذرات لبعض المواد ، تستثمر الطاقة المنبعثة لتوليد البخار لتدوير التوربين وتوليد الكهرباء ، ويتم فيها السيطرة على عملية الإنشطار النووي بالوقود النووي والذي في الغالب هو اليورانيوم– 235 أو البلوتونيوم –239 وتكمن الفكرة في تحفيز إنشطار ذرات هذه الأنوية بعد أن تصل إلى مرحلة ما يسمى الكتلة الحرجة (وهي أقل كتلة مادة معينة كافية لتوليد سلسلة متعاقبة من الإنشطارات).

أول من إقترح بناء مفاعل نووي العالم فيرمي ،وقد تم بناء أول مفاعل نووي في العام عام 1942 والغرض الرئيسي منه كان لتصنيع الأسلحة النووية.

3-3 أساسيات تصميم المفاعلات النووية:

- مادة إحداث الإنشطار وطاقتها.
- شكل قلب المفاعل (متجانس الوقود أو غير متجانس، وأدوات التبريد وأنظمة ووسائل التهدئة).
- الإستفادة من الوقود المستعمل .

4-3 أجزاء المفاعل النووي:

الوقود النووي:

يتكون من أقراص من أكسيد اليورانيوم UO_2 يتم تلبيدها لإعطائها الكثافة المطلوبة، ترتب في أنابيب لتكون أعمدة الوقود ،تعبأ الأعمدة في منظومة تسمي منظومة الوقود وتوضع في قلب المفاعل (وهو الجزء الذي تتم فيه علميات الإنشطار).

أعمدة السيطرة:

هي المكونات التي تقوم بإمتصاص النيوترونات المتولدة من الإنشطار بإدخالها أو إخراجها من قلب المفاعل للتحكم بمعدل التفاعل أو إيقاف المفاعل، وتتكون من مواد مثل الكادميوم، الهافنيوم أو البورون.

المبرد:

سائل أو غاز يدور حول قلب المفاعل لنقل الحرارة أو إمتصاصها من الوقود لمنع ذوبان قضبان الوقود، ويقسم المبرد الأولي المستخدم في المفاعلات للأنواع التالية:

- **الماء أو الماء الثقيل:**

ويكون تحت ضغط عالي (7-15mpa) لسيتطيع العمل فوق 155 درجة مئوية.

- **الهيليوم:**

يستخدم كمبرد عند نفس الضغط العالي (7–15mpa) ليولد كثافة حرارية مناسبة ،ويمكن إستخدامه لإيصال البخار مباشرة لتحريك التوربين ثم المولد الكهربائي.

- **ثنائي أكسيد الكربون:**

الكفاءة الحرارية لهذه المفاعلات تكون عالية بسبب الكثافة العالية (أعلي من كثافة الهيليوم).

- **الصوديوم:**

يذوب في 98 درجة مئوية ويغلي في 883 درجة مئوية عند الضغط الجوي.

- **الرصاص أو خليط الرصاص –البزموت:**

هذه المبردات تعمل تحت درجات عالية جداً، وتكون شفافة للنيوترونات ولا تتفاعل مع الماء ولكنها تسبب تآكل غلاف الوقود والحديد .

- **أملاح الفلور المنصهرة:**

يغلى هذا المبرد عند 1400 درجة مئوية عند الضغط الجوي .

- **أوعية الضغط:**

تتكون من أوعية من الحديد تحوي القلب، المهدئ والمبرد، وقد تكون سلسلة من الأنابيب تحمل الوقود وتنقل المبرد والمهدئ .

- **مولد البخار:**

جزء من منظومة التبريد حيث تستثمر الحرارة المتولدة لتوليد البخار لتدوير التوربين في مفاعلات القدرة.

- **المهدئ:**

مواد مثل الجرافيت أو الماء الثقيل للتحكم في سرعة عمليات الإنشطار النووي نتيجة لتهدئة النيوترونات السريعة الناتجة من الإنشطار وتحويلها إلى نيوترونات حرارية يتم إمتصاصها من اليورانيوم- 235 فينشطر بكفاءة عالية .

جسم المفاعل:

حاويات تحيط قلب المفاعل والمبرد لمنع تسرب الإشعاعات الناتجة من الإنشطار النووي ولحماية المفاعل من الإصطدام الخارجي ويتكون من بناء سميك من الكونكريت والحديد.

3-5تصنيف المفاعلات النووية:

3-5-1التصنيف حسب طبيعة التفاعل النووي:

❖ **مفاعلات الإنشطار النووي:**

وهي تعتمد على إنشطار نوى اليورانيوم- 235 أو ما نسميه الوقود النووي الطبيعي، وهنالك مفاعلات تستخدم الوقود النووي الصناعي وهي البلوتونيوم – 239 أو اليورانيوم – 233 .

❖ **مفاعلات الإندماج:**

مفاعلات الإندماج المسيطر عليها من الناحية الفيزيائية يمكن أن تستخدم كمفاعلات لتوليد الطاقة بدون تعقيدات ولكن توجد الكثير من المعوقات العلمية والتقنية، والطاقة التي تولد مفاعلات الاندماج أقل من الطاقة الكهربائية التي تستهلكها.

2-5-3التصنيف حسب طاقة النيوترون أو فعاليته:

1. **المفاعلات السريعة:** أغلب الإنشطارات تحدث بواسطة طاقة النيوترونات السريعة.
2. **المفاعلات الحرارية:** أغلب الإنشطارات تحدث بواسطة النيوترونات الحرارية.
3. **المفاعلات المتوسطة:** تحدث الإنشطارات بواسطة النيوترونات ذات الطاقة المتوسطة.

3-5-3التصنيف حسب التركيز (الشكل العام) لقلب المفاعل:

1. **المفاعلات المتجانسة:** وفيها يكون الوقود والمهدئ خليطا متجانسا أو محلولا متجانسا.
2. **المفاعلات االلا متجانسة أو المتغايرة:** وفيها الوقود يشتمل على عناصر مستقلة عن المهدئ الذي إما أن يكون مادة سائلة أو صلبة.

4-5-3التصنيف حسب إمكانية إنتاج مواد جديدة قابلة للإنشطار:

1. **المفاعلات المحولة Converted Reactors:** هي التي تنتج مواد قابلة للإنشطار أقل مما تستهلك ،وتعتبر كل مفاعلات اليورانيوم ضمن هذه المجموعة.
2. **المفاعلات المولدةGenerated Reactors:**هي التي تنتج مواد قابلة للإنشطار أكثر مما تستهلك، مثل المفاعلات الحرارية والمفاعلات السريعة.

5-5-3التصنيف حسب الإستخدام:

1. **مفاعلات البحوث Research Reactors:** هي مفاعلات لإجراء التجارب المختلفة التي تساعد على دراسة الفيزياء النووية والإشعاع وتحضير النظائر المشعة والدراسات المتعلقة بالفيزياء الصحية وغيرها.
2. **مفاعلات الطاقة Power Reactors:** وهي مفاعلات إنتاج الطاقة النووية لإستخدامها في الصناعة والحياة العلمية.

3. **المفاعلات الإنتاجية Breeder Reactors:** تصمم للحصول على مواد إنشطارية مثل اليورانيوم – 235 والبلوتونيوم– 239 وذلك بتحويل مواد مخصبة الى تلك المواد وذلك وفق التفاعلات التالية:

$$n_0^1 + th_{90}^{232} \rightarrow th_{90}^{233} \xrightarrow{\beta -} pa_{90}^{233} \xrightarrow{\beta -} u_{92}^{233}$$

$$n_0^1 + u_{92}^{238} \rightarrow u_{92}^{239} \xrightarrow{\beta -} np_{93}^{239} \xrightarrow{\beta -} pu_{94}^{239}$$

4.مفاعلات الأغرا ض المختلفة Reactors Different Purposes:

هنالك العديد من الأغراض التي يمكن أن تستخدم وتبنى من أجلها المفاعلات ،فمثلا يمكن إستخدامها لتحضير العناصر فائقة الثقل أوعناصر مابعد اليورانيوم.

6-5-3التصنيف حسب نوع المادة المستخدمة:

❖ **مفاعلات الماء الخفيف Light Water Reactor:**

- مفاعلات الماء المضغوط (PWR).
- مفاعلات الماء المغلي (BWR).

يستخدم الماء الخفيف (العادي) كمهدئ للنيترونات وكمبرد لقلب المفاعل لإستخلاص الطاقة الحرارية والاستفادة بها.

❖ **مفاعلات الماء الثقيل Heavy Water Reactor:**

يستخدم الماء الثقيل كمهدئ والخفيف كمبرد حيث يتحول الى بخار (كما في مفاعل الماء الغلي) ولكن داخل أنابيب التبريد حيث الضغط المرتفع بينما يبقى ضغط المفاعل تحت ظروف الضغط الجوي.

❖ **المفاعلات المبردة للغاز Gas Cooled Reactor:**

يستخدم فيها اليورانيوم الطبيعي كما يخلو البخار من الإشعاع ولكن من عيوبها:

- تدني الكفاءة .
- التاثيرات السلبية لغاز Co2 الذي تحول لمادة تساعد على التآكل بشدة عند درجات الحرارة العالية .

3-6 نظرية المفاعلات:

عند بناء مفاعل نووي يلزمنا الحصول على حجم حرج أو كتلة حرجة من المادة الإنشطارية وتحديد الحجم الحرج للمفاعل يعتمد على التوازن النيوتروني داخل المفاعل.

فالنيوترونات تنتج من الإنشطار النووي بينما تستهلك في تفاعلات الأسر أو التشتت كما ويتمكن البعض منها الهرب خارج المفاعل وبالتالي فإن الصيغة العامة لمعادلة الإتزان النيوتروني في المفاعل تأخذ الصورة التالية:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \text{معدل الإنتاج} - \text{معدل التسرب} - \text{معدل الامتصاص}$$

حيث:

$\equiv n$ كثافة النيترونات (عدد النيترونات في وحدة الحجوم)

$\equiv \partial n/\partial t$ معدل التغير بالنسبة للزمن

كما وإن المعادلات السابقة تؤخذ بالنسبة لوحدة الحجوم في المنظومة في حالة إستقرار فإن محصلة معدل التوالد تساوي صفرا، اي أن $\partial n/\partial t$= صفر وينتج أن:

معدل الإنتاج = معدل الإمتصاص + معدل التسرب

وهذا يعني أنه في حالة الإستقرار أو المنظومة الحرجة فإن معدل إنتاج النيوترونات يتزن تماما مع معدل الإمتصاص ومعدل الهرب، يمكن حساب معدلي الإنتاج والإمتصاص بمعرفة مساحات مقاطع هذين التفاعلين للمواد المستخدمة في المفاعل وذلك بطرق علمية.

3-7 انتشار النيوترونات Neutron Diffusion:

يتحرك النيوترون في خط مستقيم إثر كل تصادم مع النواة وبعد ان يتم التصادم يتحرك النيوترون في إتجاه معين يمكن تحديده حسب إحتمالات التوزيع، وعلى كل حال

عندما يوجد عدد كبير من النيوترونات فإننا نجد أن هنالك محصلة إنتشار للنيوترونات من القطاع ذي الكثافة العالية إلى القطاع ذي الكثافة الأقل.

عندما تنطلق النيوترونات من الإنشطار النووي فإنها غالبا ما تكون سريعة وفي حالة المفاعلات الحرارية المتوسطة فإنه يجب أن تهدأ هذا النيوترونات الى هذه الطاقات ويتم ذلك عن طريق تصادمها مع المادة المهدئة، وخلال عملية التباطؤ هذه قد تتمكن النيوترونات أيضا في التسرب خارج المنظومة ومن ثم فإن علاقات الإتزان النيوتروني يجب أن تعتمد على الطاقة كما تعتمد على الموضع وبالتالي يمكن تقسيمها الى عدة أجزاء:

- أولاً: معالجة مشكلة إنتشار مجموعة من النيوترونات وحيدة الطاقة عن طريق التصادمات المرنة خلال منظومة ذات إمتصاص منخفض.
- ثانياً: معالجة مشكلة الإنتشار عندما يحدث تصادم أو تشتت يعقبه فقد للطاقة بالإضافة إلى تغير الموضع، يمكن معالجة إنتشار النيوترونات في المفاعل فإن التصادمات بين هذه النيوترونات بعضها البعض يكاد يكون معدوما بينما يشكل التصادم مع الأنوية الثابتة في منظومة التفاعل الرئيسي.

الفصل الرابع

توليد الطاقة بواسطة مفاعلات القدرة

Production of Electric Power

by Power Reactors

الفصل الرابع

توليد الطاقه بواسط مفاعلات القدرة

Production of Electric Power by Power Reactors

4-1 مقدمةIntroduction:

لقد شهدت خمسينيات القرن المنصرم نموا كبيرا فى إستخدام الطاقة النووية للأغراض السليمة لذا فإن موضوع الطاقة النووية وإعتمادها فى التنمية يعتبر إستراتيجية

لابد منها لتحقيق نتائج إيجابية، إن للمفاعلات النووية تطبيقات كثيرة على مستوى العالم ومن تلك التطبيقات إنتاج الطاقة الكهربية وبكفاءة أكبر من الطرق التقليدية كما فى المولد الكهربائي وبكميات كبيرة ، ومن تلك المفاعلات المستخدمة لتوليد الطاقة الكهربائية:

4-2 مفاعل الماء الخفيف: Light Water Reactor

هو نوع من المفاعلات النووية الحرارية Thermal Reactor يستخدم الماء العادى كمهدئ للنيوترونات وللتبريد، بعكس المفاعلات التي تستخدم الماء الثقيل لتهدئة سرعة النيوترنات وكمبرد، ومفاعلات الماء الخفيف هي أكثر أنواع المفاعلات إنتشاراً والتي تستخدم لإنتاج الطاقة الكهربائية من الطاقة النووية، ومن أنواعه:

1. مفاعل الماء المغلي.
2. مفاعل الماء المضغوط.

4-2-1 تصميم المفاعل:

ينتج مفاعل الماء الخفيف الطاقة الحرارية عن طريق التفاعل الإنشطاري المتحكم فيه ، ويتكون المفاعل من قلب المفاعل الذي يحتوي على وحدات الوقود النووي، وهو يحتوي أيضا على قضبان للتحكم فى سير التفاعل ، ويتكون الوقود النووي

من قضبان الوقود النووي يبلغ قطرها 1سم وطولها نحو 3.7متر، وهى مجمعة فى حزم تسمى وحدات الوقود ويكون شكلها شكل القفص.

أقراص أوكسيد اليورانيوم تعبأ بعد ذلك فوق بعضها البعض فى أنابيب بنفس المقطع من الزركونيوم ، لتكوين قضيب وقود طوله نحو 4 متر.

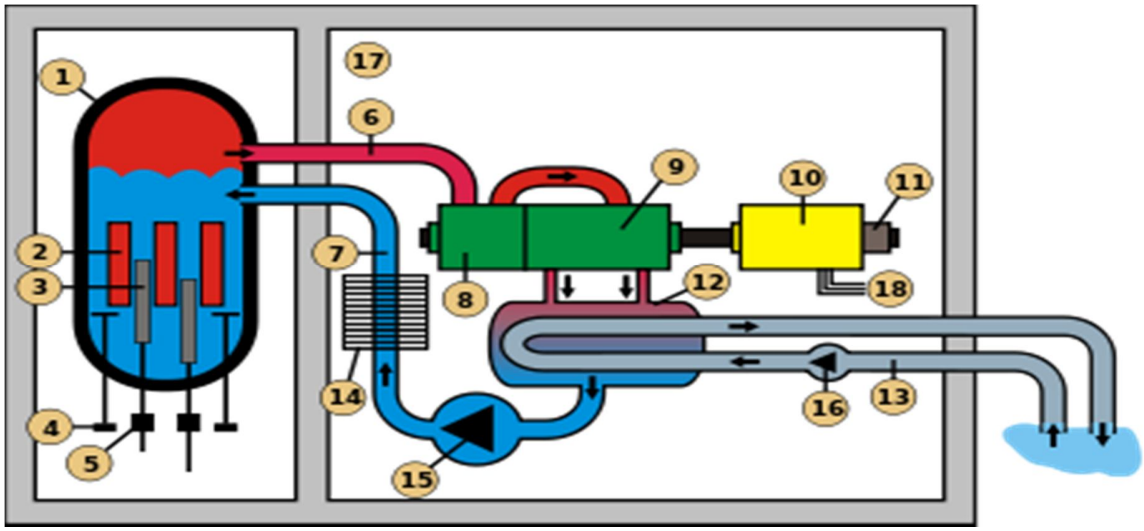
ويوجد فى داخل كل قضيب وقود أقراص من اليورانيوم فى شكل أوكسيد اليورانيوم، بيلغ طول القرص نحو 2.5سم وهى مرصوصة داخل قضيب الوقود (أنبوب)فوق بعضها، وتوجد فى قلب المفاعل أيضا قضبان التحكم وهى تحتوى على مادة مثل الكادميوم وهي تتميز بإمتصاصها للنيوترونات، وعند تغتيص قضبان التحكم فى قلب المفاعل فلا يمكن للتفاعل النووي أن يأخذ مجراه بسبب عدم وجود النيوترونات.

وعلى العكس عند سحب قضبان التحكم من قلب المفاعل تدريجيا تبدأ النيوترونات الإصطدام بأنويه ذرات اليورانيوم−235 أو البلوتونيوم−239 وعلى المواد الإنشطاريه ، ويبدأ التفاعل التسلسلي يأخذ مجراه رويداً ويشتد، وتوجد جميع تلك الأجزاء فى خزان ضغط أو غلاية ضغط محكمة مليئة بالماء ، ويسمى خزان ضغط المفاعل، وتحول الحراره المتولدة عن الإنشطار فى مفاعل الماء المغلي الماء إلى بخار، وهو يوجه مباشرة إلى تشغيل توربينات لتوليد الكهرباء.،أما فى مفاعل الماء المضغوط فتحول الحرارة الناشئة عن الإنشطار النووي إلى دائرة ماء أخرى تسمى الدائرة الثانوية عن

طريق مبادل حراري ،والبخار المتولد في الدورة الثانوية هو الذي يستخدم لتشغيل التوربينات، وفي كلتا الحالتين يعود البخار بعد إدارته للتوربينات إلى مكثف الماء لإعادة الدورة.

ويؤخذ ماء التبريد المستخدم في مكثف البخار من نهر أو بحر مجاور ،ويعاد ماء تبريد المكثف إلى النهر دافئا نوعا ما، كما يمكن تبريد الحرارة الزائدة عن طريق أبراج التبريد فتنتشر الحرارة الزائدة فى الجو، وتستخدم بلاد كثيرة مثل الولايات المتحدة الأمريكية والدول الأوروبية واليابان وكوريا مفاعلات الماء الخفيف لإنتاج الطاقة بالمقارنة بكندا وأيضا الصين التى تستخدم الماء الثقيل فى مفاعلاتها.

4-3 مفاعل الماء المغلي Boiling Water Reactor:



4-3-1 تصميمه:

1. خزان الضغط للمفاعل من الفولاذ (سمك 25 سنتيمتر).
2. وحدات الوقود النووي (يورانيوم مخصب).
3. قضبان الضبط من الكادميوم تمتص النيوترونات.
4. خروج البخار المضغوط.
5. رجوع الماء المضغوط.
6. توربين بخاري ضغط عالي.
7. توربين بخاري ضغط متوسط.
8. مولد كهربائي.
9. مكثف البخار.
10. ماء تبريد (من نهر مجاور).

11. تسخين ابتدائي للماء.

12. طلمبة ضخ الماء إلى خزان الضغط.

4-3-2 طريقة عمله:

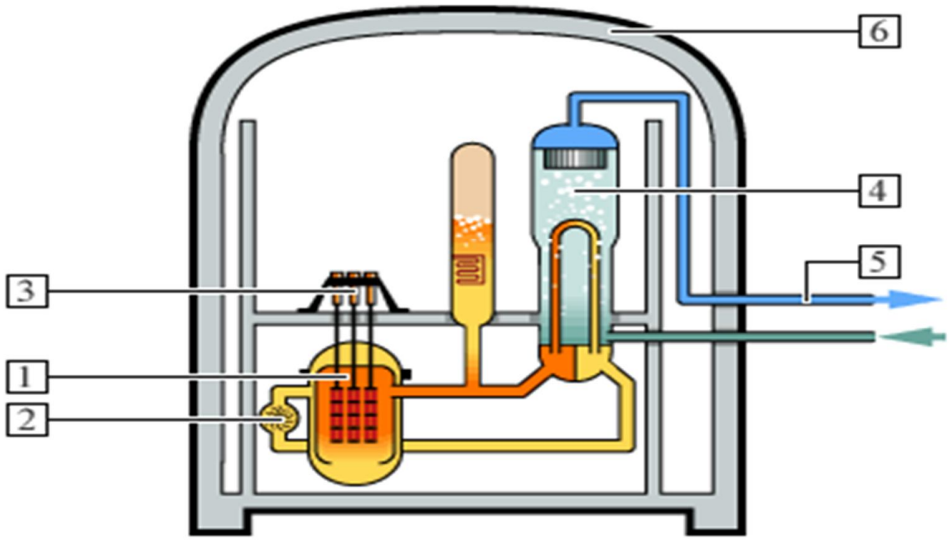
يضخ الماء الساخن الذي سبق تسخينه إلى خزان الضغط للمفاعل والذي هو معزول بواسطة بناية الحجز عن باقي مباني المفاعل، وتوجد في خزان الضغط صندوق وحدات الوقود المصنوع من أكسيد اليورانيوم المخلوط بنسبة 0–4 % باليورانيوم–235. ويكون خزان الضغط ممتلئا إلى نحو ثلثيه بالماء. ويؤدي التفاعل الانشطاري إلى تولد حرارة تعمل على رفع درجة حرارة الماء وتكون البخار، فيرتفع الضغط في خزان الضغط إلى 71 ضغط جوي كما ترتفع درجة الحرارة إلى 276 درجة مئوية، ويقوم هذا البخار المتولد في خزان الضغط بتحريك توربين، يتصل بالتوربين مولد كهربائى ضخم يحول طاقة الحركة الواردة إليه إلى طاقة كهربائية، وبعد خروج البخار من التوربين يكثف بواسطة ماء تبريد ويعود إلى الحالة السائلة، ثم يوجه إلى دورة المفاعل ليعمل من جديد.

وتبلغ كفاءة عمل مفاعل الماء المغلي أقل قليلا من كفاءة مفاعل الماء المضغوط. وتبلغ كفاءة توليد الكهرباء نحو 35 %.

4-4 مفاعل الماء المضغوط Pressurized Water Reactor:

يختلف مفاعل الماء المضغوط عن مفاعل الماء المغلي من حيث أن مفاعل الماء المغلي له دائرة واحدة للماء والبخار من خزان الضغط للمفاعل إلى التوربينات بينما يجري ذلك في مفاعل الماء المضغوط في دائرتين. الدائرة الأولية هي دائرة المفاعل وهي عالية الشوائب المشعة حيث يلامس ماء التبريد وحدات الوقود النووي مباشرة. وتلتقي الدائرة الأولية خارج خزان المفاعل مع الدائرة الثانوية عن طريق مبادلات حراريه فيكون البخار الذي يدير التوربينات تقريبا خاليا من الشوائب المشعة، يدير بخار الماء ذو ضغط عالي التوربينات التي تدير مولدات ضخمة تنتج التيار الكهربائي، وفي معظم أنحاء العالم تغلب مفاعلات الماء المضغوط لإنتاج القدرة الكهربائية.

مفاعل للماء المضغوط



4-4-1 تصميمه:

1. قلب المفاعل.
2. مضخة التبريد.
3. قضبان الوقود.
4. مولد البخار.
5. ضخ البخار للتوربين، الذي يولد الكهرباء.
6. مبنى الاحتواء.

4-4-2 طريقه العمل:

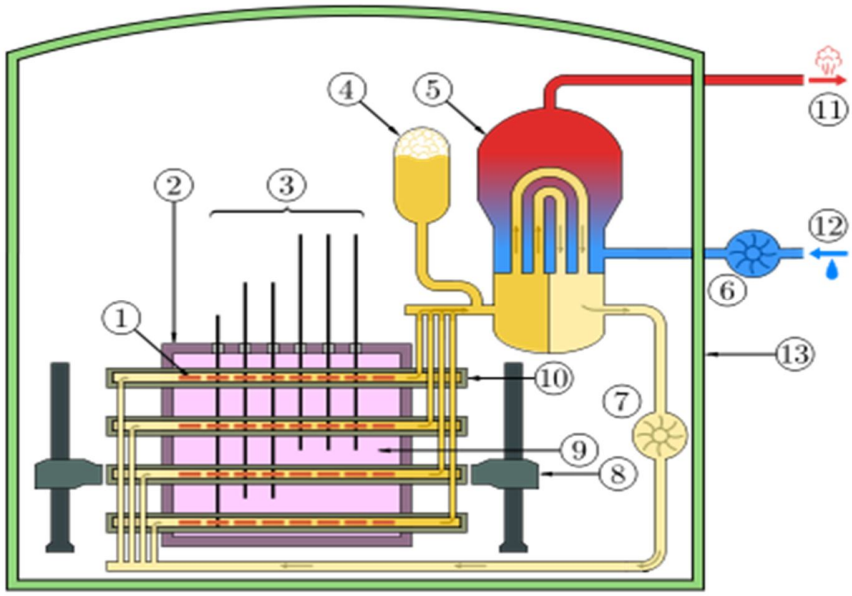
في الدائرة الأولية، يـُضغط الماء بواسطة ضاغط حتى يصل إلى ضغط حوالي 15.5ميجا باسكال ويدخل حاوية الضغط للمفاعل من أعلى ويسري في الداخل بين جدار الحاوية وقلب المفاعل ليصل إلى أسفل، حيث يوزَّع على القلب ويـُضخ صعوداً خلال القلب الذي يحتوي على وحدات الوقود النووي ليخرج بعدها من أعلاها، تكون درجة حرارته عند الدخول حوالي *290* درجه مئويه (سيلزية C) وتبلغ *325* درجة تقريباً عند الخروج، بخلاف مفاعل الماء المغلي، فإن عملية ضغط الماء في الدائرة الأولية (وهي الدائرة الوحيدة) تمنعه من الغليان في قلب المفاعل.

يتم التحكم في سير التفاعلات النووية وبالتالي في إنتاج الطاقة الكهربائية بواسطة قضبان التحكم التي تزج بين وحدات الوقود وتقوم هذه القضبان بتهدئة التفاعلات عن طريق إمتصاصها للنيوترونات البطيئة الزائدة، ويتم التحكم في معدل التفاعلات من خلال خفض أو رفع قضبان التحكم في قلب المفاعل.

عند خروج الماء من قلب المفاعل يدخل في مبادل حرارى في الدائرة الثانوية حيث يسخن الماء تحت ضغط أقل منه في الدائرة الأولية مولداً بخاراً ذو ضغط عالي فيحرك زعانف توربين بخارى فيدور التوربين، ويتصل التوربين على محوره بمولد كهربائي ضخم فتتولد الطاقة الكهربائية ،و تبلغ قدرة مفاعلات الماء المضغوط الحديثة بين *900* إلى *1.100* *ميجاواط*، يخرج بخار الماء من التوربين ويمر في مكثف حيث يعاد إلى الحالة السائل' ومنه إلى المبادل الحراري وهكذا.

4-5 مفاعل كاندو CANDU :

صمم المفاعل الكندي المسمى CANDU ليعمل بالماء الثقيل المضغوط كمهدئ واليورانيوم الطبيعي لإنتاج الطاقة الكهربائية من الطاقة النووية.



رسم توضيحي لمفاعل كاندو، الدورة الابتدائية باللونين الأصفر والبرتقالي، الدورة الثانوية بالأزرق والأحمر، وترى قضبان التحكم(3) ساقطة جزئيا فى قلب المفاعل.

4-5-1 تصميم المفاعل:

1. حزمة الوقود.
2. قلب المفاعل.
3. قضبان التحكم.
4. خزان الماء الثقيل.
5. مولد البخار.
6. مضخة ماء عادي.
7. مضخه الماء الثقيل.

8. آلة تموين الوقود.

9. الماء الثقيل.

10. أنبوب الضغط.

11. بخار خارج لتشغيل التوربين.

12. عودة الماء البارد من التوربين.

13. مبنى المفاعل لمنع الإشعاع إلى الخارج.

لا تختلف طريقة عمل مفاعل كاندو الذي يعمل بالماء الثقيل كمهدئ للنيوترونات السريعة عن طريقة عمل مفاعل الماء المضغوط إلا في بعض التفاصيل، فكلا المفاعلان يعمل بدائرتين للماء الساخن والبخار تتلو الواحدة الأخرى لتشغيل التوربين الذي يقوم بدوره في تدوير مولد كهربائي لإنتاج التيار الكهربائي، ويستخدم مفاعل كاندو في دورته الابتدائية الماء الثقيل بدلا عن الماء العادي، من أجل إستخدام اليورانيوم الطبيعي في قلب المفاعل بدلا عن اليورانيوم المخصب.

يتميز الماء الثقيل بأنه ضعيف لإمتصاص النيوترونات مما يحافظ على كثافة النيوترونات في قلب المفاعل، أما الماء العادي فهو يمتص النيوترونات، ولا بد أن يعوض المفاعل عن تلك النيوترونات المفقودة عن طريق زيادة نسبة اليورانيوم−235

لإبقاء معدل التفاعل على مستواه، لهذا يحتاج مفاعل الماء المضغوط وكذلك مفاعل الماء المغلى اليورانيوم المخصب.

ويماثل مفاعل الماء الثقيل المضغوط تقريبا مفاعل الماء المضغوط المعتاد، إلا أنه يختلف عنه في بعض التفاصيل.

يقوم التفاعل النووي بتوليد حرارة في قلب المفاعل وتعتبر تلك الدورة هي الدورة الإبتدائية ذات ضغط مرتفع، ويعمل المبادل الحراري على نقل الحرارة إلى الدورة الثانوية، والتي تقوم بتدوير التوربين المتصل بمولد كهربائي .

بعد خروج بخار الماء من التوربين يُكثف في مكثف للبخار بواسطة ماء كثير مأخود من نهر مجاور، ويعاد الماء ثانيا إلى المبادل الحراري، ويمكن الإستعاضة عن ذلك بإستخدام برج تبريد.

الخلاصة:

لإنشاء مفاعلات الطاقه فإنه من الأفضل إنشاء مفاعل الماء الخفيف إذا أخذنا فى إعتباراتنا الآتي:

- من الناحية الإقتصادية فإن الماء الخفيف رخيص ومتوفر .

- مفاعل الماء المضغوط المصنف ضمن مفاعلات الماء الخفيف اكثر أمانا لإن البخار يصل نظيفا إلي التوربين حيث يتم تحويله إلى غاز فى المبادل الحراري .
- وضعية الأعمدة الرأسيه تجعله يعمل ذاتيا تحت تأثير وزنها.

ومن وجهة نظر أخرى فإنه من الإفضل إنشاء مفاعل الماء الثقيل للآتى:

- من الناحية الإقتصادية فإن إستخدام اليورانيوم الطبيعى سوف يلغي وحدة تخصيب اليورانيوم التي تعد باهظة الثمن .
- وضعية الوقود الأفقية تسهل من عملية شحن وتفريغ قلب المفاعل من الوقود كما أن عملية التغيير لاتتطلب وقف المفاعل .
- يتميز ببخار خالي من الإشعاعات مما ينعكس إيجابيا على التوربينات ويطول من فترتها التشغيلية .

المراجع:

1. أساسيات الفيزياء النووية د. محمد حبيب بركات، الطبعة الاولي 2008م-1428، دار الفكر ناشرون وموزعون، ص207 – ص217.

2. الطاقة الذرية واستخدامتها، د.خضر عبد العباس حمزة، د. غان هاشم الخطيب، ط1، 1984، ط2 1989 منشورات منظمة الطاقة الزرية العراقية ، ص77-ص197.

3. الفيزياء النووية الجزء الأول، علي محمد كعنة، محمد شحاده الرغمة، مكتبة الفلاح للنشر والتوزيع، الطبعة الاولي، 1997م.

4. الفيزياء النووية والإشعاعية، د. محمد قاسم محمد الفخار، فوزي عبد الكريم الكريم، منشورات جامعة عمر المختار، البيقاء ، ليبيا ، 2006م.

5. الفيزياء النووية والطبية، أ.د عذاب طاهر كناني، ط1، دار الفجر للنشر والتوزيع، القاهرة، 2009م، ص365 –ص366.

6. الفيزياء النووية، د. أحمد الناغي، د. محمد نبيل يس البكري، القاهرة، دار الفكر العربي، 2008، ص205، ص329.

7. الفيزياء النووية، مناف عبد حسن، ط1، 2008م.