الباب الأول

(1-1) مقدمة:

المفاعلات النووية عباره عن جهاز يستخدم لبدء تفاعل نووي متسلسل مستدام وللتحكم فيه ، او بتعبير ادق للسيطره عليه من خلال السيطره علي عمليات الانشطار النووي المتسلسله داخل قلب المفاعل مع الحفاظ علي الاجواء المناسبه لاستمرار تلك العمليات بشكل دائم دون وقوع انفجارات ،تنساب الطاقه النووية مع المفاعل بشكل تدريجي.

تنتشر التفاعلات المتسلسله انتشاراً واسعاً بين التفاعلات الكيميائية حيث تلعب الذرات دور الجسيمات ذات الروابط غير المستقلة .ويمكن ان تحقق النيوترونات التي ليس لها حاجز كولوميوالتي تثير النوي عند الامتصاص آليه تفاعل متسلسل اثناء التحولات النووية. وظهور الجسيم المطلوب في الوسط يحدث سلسله من التفاعلات يتلو الواحد منها الآخر فتستمر حتي تنقطع السلسه نتيجه لفقد الجسيم الحامل للتفاعل والاسباب الاساسيه للفقدان اثنان :

امتصاص دون انبعاث آخر ثانوي،وخروج الجسيم من حيز الماده التي تحفظ العمليه المتسلسله واذا كان الذي يظهر في كل عمليه تفاعل جسيم حامل واحد فقط فان التفاعل يسمي غير مستقطب ، ولا يمكن ان يؤدي التفاعل المتسلسل غير المتشعب الي انفعالات الطاقه علي نطاق كبير .

ثمة نوعان للمفاعلات النووية :

مفاعلات للبحث واخري لتوليد الطاقه .تستخدم مفاعلات البحث لإجراء الابحاث العلمية وانتاج النظائر لأهداف طبية وصناعية وهي لا تستخدم لانتاج الطاقه علي مستوي العالم هنالك 284مفاعلاً نووياً لي لأبحاث في 56بلداً اما مفاعلات الطاقة يتم استخدامها لتوليد الطاقة الكهربائيه .

وتستخدم المفاعلات ايضاً كمصانع لإنتاج السلحه في البلدان التي تمتلك برامج حرب نووية فيمكن استخدام المفاعلات النووية السلمية لإنتاج الاسلحه النوويه واجراء الأبحاث المتعلقه بها .

تُستخدِم المفاعلات النووية المخصصه لصناعة الاسلحة مادة بلوتونيوم 239 ، اما في المفاعلات السلمية يتم إنتاج نظائر اخري للبلوتونيوم مثل البلوتونيوم 240 ، وبلوتونيوم 241 ، وبلوتونيوم 238 ، وذلك لأن وقود المفاعل يتعرض لإشعاع النيوترون لفترات أطول .ومن الممكن استخدامها ايضا لإنتاج المتفجرات النووية .

وقد لا تكون هذه المتفجرات بدرجة المتفجرات المصنعة من البلوتونيوم الأمثل لصناعة الأسلحة ؛ فقد تنفجر قبل الأوان ولكن حتي لو حدث ذلك فإن نصف قطر دائرة الدمار الذي يسببه انفجارها هو علي الاقل 33% من نصف قطر دائرة دمار قنبلة هيروشيما ؛فهي بذلك مواد تفجيرية ذات قدرات مريعه وتعمل المفاعلات النووية علي مبدأ الانشطار النووي وذلك من خلال انشطار نواة الذره مما يؤدي الي إطلاق طاقه حراريه.

وتعتبر مادة اليورانيوم235 هي الوقود الرئسي المستخدم في المفاعلات النووية كما يمكن استخدام البلوتونيوم 239 ويحدث الإنشطار النووي لذرات اليورانيوم بإطلاق النيوترونات عليها وعندما تنشطر بعض الذرات فإنها تطلق النيوترونات ، واصطدام هذه النيوترونات مع ذرات اخري بسبب إنشطارها فيتم تحرير المذيد من النيوترونات ، وهكذا يستمر رد الفعل المتسلسل مسبباً توليد كميه هائله من الطاقة الحرارية ،ويتم التحكم بمعدل الإنشطار النووي في المفاعل بإستخدام "قضبان تحكم" التي تقوم بإمتصاص بعض النيوترونات المتحررة ، فهي تسمح بتنظيم الإنشطار النووي والتحكم الآمن به .

كما يتم إستخدام نظام تبريد مائي للتخلص من الحرارة المفرطة التي تُنتج اثناء العمليه ، ويستخدم البخار الذي يتم توليده لتدوير العنفات التي تولد الطاقة الكهربائيه.

وتعد كندا والولايات المتحدة الامريكية وجنوب افريقيا واستراليا ونيجيريا من أهم الدول المزودة لليورانيوم .

ان كمية الوقود النووي المطلوبة لتوليد كمية كبيرة من الطاقة الكهربائيه هي اقل بكثير من كميهة الفحم أو البترول اللازمة لتوليد نفس الكمية .

تنتجى محطات الطاقة النووية جيدة التشقيل أقل كميه من النفايات بالمقارنة مع أي طريقة أخري لإنتاج الطاقة ، فهي لا تطلق غازات ضارة في الهواء مثل غاز ثاني اكسيد الكربون أو أكسيد النتروجين أو ثاني أكسيد الكبريت التي تسبب الإحترار العالمي والمطر الحمضي والضباب الدخاني .

إن مصدر الوقود ـ اليورانيوم ـ متوفر بكثرة وبكثافة عالية وهو سهل الإستخراج و النقل ، علي حين أن مصادر الفحم والبترول محدودة ، ومن الممكن أن تستمر المحطات النووية لإنتاج الطاقة في تزويدنا بالطاقة لفترة طويلة بعد قصور مصادر

تُشقل المحطات النووية لتوليد الطاقة مساحات صغيرة نسبياً من الأرض بالمقارنة مع محطات التوليد التي تعتمد علي الطاقة الشمسيه أو طاقة الرياح .

يؤدي إستخدام الطاقة تانووية الي إنتاج نفايات ذان الفعالية الإشعاعية العالية ،فبعد ان يتم إنشطار معظم اليورانيوم ـ الوقود المستهلك ـ يُوزال من المفاعل ويُخزن في بحيرات تبريد ، وتقوم هذه البحيرات بإمتصاص حرارة الوقود المستهلك وتخفيض درجة إشعاعيته ، ثم تتم اعدة معالجته من أجل إسترجاع اليورانيوم والبلوتونيوم غير المنشطرين وإستخدامهما من جديد كوقود للمفاعل ، ويُنتج من هذه العملية نفايات ذات فعالية إشعاعية عاليه المستوى . يتم اعادة معالجة الوقود المستهلك بشكل روتيني في مفاعلات برامج الدفاع لإستخدامه في إنتاج الأسلحة النووية .

وفق م ذكرته الوكالة الدولية للطاقة الذرية فإن تقريرات نهاية عام 1997 تشير الي أن كمية الوقود سالمستهلكة الناجم عن مفاعلات الطاقة التي يتم تخزينها عالمياً والتي تزيد عن 130 ألف طن ،تحتوي غُرابة ألف طن من البلوتونيوم ، كما أن بعض العناصر الموجودة في الوقود المستهلك وفي النفايات مثل عنصر البلوتونيوم هي ذات فعالية إشعاعية عالية وتبقي كذلك لمدة ألاف السنين ولا يوجد حالياً نظام آمن للتخلص من هذه النفايات .وأن المقترحة للتخلص من النفايات عالية الإشعاعية وتخزينها لاتضمن جميع الخطط المفاعلات النووية تتكون من وعاء ثقيل يشبه الصهريج أو الخزان يحتوي داخله "قلب" من الوقود النووي ، معظم المفاعلات تحتوي ايضاً علي "مُهدي" لإبطاء سرعة النيوترونات الي النقطة التي يمكن عندها جعل التفاعل المتسلسل يدوم دون أن يتوقف أو يذيد عن الحد .

كل المفاعلات تحتوي ايضاً علي "مبرد" للتخلص من الحرارة الناتجة من التفاعل النووي ، ماعدا المفاعلات ذات الطاقة المنخفضة جداً . ويتم تنظيم سرعة التفاعل النووي أو "السيطرة عليه " من خلال "نظام التحكم" . كما نفرض احتياطات للسلامة صارمة جداً في تشغيل المفاعلات ومعالجة منتوجات التفاعل الثانوي المشعه والتخلص من النفايات الخطرة ويتوقع بعض الخبراء نقصاً في الطاقة الكهربائية في المستقبل البعيد نتيجة ظاهرة الإنحباس الحراري التي تسببها الإنبعاثات الناتجة عن الأنشطة البشرية مثل الإنبعاثات الناتجه عن عمليات تكرير النفط ومحطات توليد الطاقة وعوادم السيارات وغيرها .

لذا فهنالك إعتقاد سائد بأن الطاقة النووية هي السبيل الأمثل لسد هذا النقص في المستقبل .

(1-2) مشكلة البحث :

الإستخدام السلبي للمفاعلات النووية وذلك عن طريق إستخدامها كأسلحة حرب بدلاً من اداة لإنتاج الطاقة ، والتأثيرات الناتجة من النفايات المشعه التي تخلفها المفاعلات النووية .

(1-3) أهداف البحث :

1- التعرف علي المفاعلات النووية وإستخداماتها السلمية وغير السلمية .

2- معرفة الطاقة النووية وطرق انتاجها وميزاتها ومساوئها .

3- طرق الوقايه من الاشعاع "الدروع" وحماية المنشأة النووية .

(1-4) محتوي البحث :

تناولنا في الباب الأول كل من مقدمة البحث ومشكلتة واهدافه ومحتواه وطريقتة ، أما الباب الثاني فقد تناول المفاعلات النووية من حيث التعريف والتركيب والمكونات وطريقة العمل بالإضافه الي تخصيب اليورانيوم وأنواع المفاعلات النووية وإستخداماتها ، أما الباب الثالث تحدث عن الوقود النووي وإنتاج الطاقة النووية ، ، أما في الباب الرابع فقد تحدثنا عن طرق الوقاية من الإشعاع وكيفية حماية المنشأة النووية وطرق عمل الدروع .

(1-5) طريقة البحث :

لقد إستخدمنا في هذا البحث الطريقة النظرية فقط .

الباب الثاني

المفاعلات النووية وإستخداماتها

الباب الثاني

(2-1) مقدمة :

منذ أن أُنشئ أول مفاعل نووي فإن تطوراً سريعاً قد حدث في هذا المجال حيث بلغ عدد أنواع المفاعلات خلال السنوات القليلة التالية عدة مئات منذ بداية صناعة المتفاعلات . وتوجد الأن مفاعلات نووية كثيرة تعمل في جميع انحاء العالم وقد تعددت أنواعها بشكل كبير ، وذلك لتعدد الأغراض ذاتها التي تبني من اجلها المفاعلات . إن تصميم المفاعل النووي وانشاؤه وتشغيله يعد جزءاً من ميدان كبير جداً مطرد الإتساع وهو علم الهندسه النووية .

(2-2) تعريف :

المفاعلات النووية عبارة عن منشآت يتم فيها السيطرة علي عملية الإنشطار النووي حيث الإحتفاظ بالاجواء المناسبة لإستمرار عملية الإنشطار النووي دون وقوع إنفجارات أثناء الانشطارات المتسلسله . تستخدم المفاعلات النووية لأغراض خلق الطاقة الكهربائية و تصنيع الأسلحة النووية وإزالة الاملاح والمعادن الأخري من الماء للحصول علي الماء النقي وتحويل عناصر كيميائية معينة الي عناصر أخري وخلق نظائر كيميائية ذات فعالية إشعاعية ويمكنها إمداد سفن وحاملات الطائرات والغواصات النووية بالطاقة و أغراض أخري .

ولفهم المفاعلات يجب أولاً أن نفهم ماهو التفاعل النووي ؟

التفاعل النووي هو تفاعل يحدث عندما تصطدم نواتي ذرتين ببعضهما أو عندما يصطدم جسيم أولي مثل البروتون أو النيوترون بنواة ذرة وينشأ عن هذا الأصطدام مكونات جديدة تختلف عن المكونات الداخلة في التفاعل . من خلال اصطدام الجسيم الأولي بالنواة تتكون أولاً مايسمي النواة المركبة . التي تتحلل في وقت قصير جداً، وينتج عن ذلك نواة جديدة مصحوبة بإنطلاق جسيم أو جسيمات أخري وربما حرارة .

وفي المفاعلات يتم قذف العنصر المستخدم كوقود نووي مثل نظير اليورانيوم (235) بقذائف من النيوترونات فتنشطر النواة الي نواتين أو أكثر ويرآفق هذا الإنشطار قدراً كبيراَ من الطاقة اضافةً الي عدد من النيوترونات الحرة والتي بدورها تصطدم بذرات أخري من الوقود النووي فتنشطر مرة أخري ليستمر التفاعل (الإنشطار) بشكل متزايد.

(2-3) تركيب المفاعل النووي :

يتكون المفاعل النووي من الأجزاء التالية:-

1- مركز المفاعل وهو الجزء الذي يتم فية سلسلة الإنشطار النووي

2- السائل المتحكم في حرارة المركز ويستعمل الماء عادةً للتحكم في سرعة النيوترونات بالتلي معدل الإنشطار النووي كما انة ناقل للحرارة الناتجة من التفاعل النووي ويتحول جزء منة الي بخار عالي الضغط

3- حاويات تحيط بمركز المفاعل والماء مصنوعة من الحديد الصلب ذات جدران سميكة (نحو25سم) ، للإحتفاظ بضغط البخار عاليا ، ولمنع تسرب الإشعاعات الناتجة من الإنشطار النووي الي الخارج والوقاية منها . يخرج بخار الماء بضغط يبلغ 400 ضغط جوي وتكون درجة حرارته نحو 450 درجة مئويه بواسطة انابيب متينة من حاوية المفاعل .

4- محولات حرارية يأتي البخار عالي الضغط من المفاعلات الي المحولات لفصل دائرتي الماء ، الدائرة الاولية التي تلف في المفاعل وهذه تكون عالية الإشعاع ، لذلك تفصل عن الدائرة الثانوية للماء الساخن المضغوط . ويتحول هذا الماء في الدائرة الثانوية عند مقادرتة للمحول الحراري الي بخار ماء عالي الضغط والحرارة ويوجه الي توربين لتوليد الكهرباء .

5 - مولد كهربائي عملاق يديره التوربين وبالتالي يتم توليد التيار الكهربائ وبذلك تتحول الطاقة النووية الي طاقه حرارية ثم الي طاقة حركة للتوربين والمولد الكهربائي الي طاقة كهربائيه لتشغيل المصانع وانارة المنازل

(2-4) طريقة عمل المفاعل :

يتم التفاعل النووي في قلب المفاعل والذي ينتج حرار عالية . يتم نقلها عبر المبدلات الحرارية والتي تعمل عادةً بالماء الثقيل .الذي يتركب من ذرتي ديتيريوم وذرة اكسجين . وللتحكم في التفاعل توجد قُضبان للتحكم التي يتم عن طريقها تخفيض سرعة التفاعل بدفعها داخل قلب المفاعل ولهذه القضبان لبقدره علي إمتصاص النيوترونات وبحسب مايراد للمفاعل ان تكون درجة حرارتة ليتم تحديد معدل دفع القضبان الي قلب المفاعل كذلك يمكن في حالة الخطر أو الرغبة في تغيير الوقود اليورانيوم دفع القضبان بكاملها الي قلب المفاعل لإخماد التفاعل .

يقوم المبادل الحراري بإمتصاص الحرارة من قلب المفاعل وبها يتم تبخير الماء وإستخدام البخار في إدارة التوربين ويعمل المبادل الحراري بإمرار مواد مسآله كالصوديوم المسآل أو مواد غازية ورفع هذه المواد الي قلب المفاعل وعن طريق بعض التوربينات يتم تمرير الغاز أو السائل في دائرة بين قلب المفاعل والماء . حيث يتم نقل الحراره الي الماء لتبخيرة لإستخدام البخار في إدارة التوربين والزي يقوم بتوليد الكهرباء .a

(2-5) تخصيب اليورانيوم

(2-5-1) اليورانيوم :

اليورانيوم هو المادة الخام للبرامج النووية المدنية والعسكرية . ويستخلص من طبقات قريبة من سطح الأرض أو عن طريق التعدين من باطن الأرض . ورقم أن مادة اليورانيوم توجد بشكل طبيعي في انحاء العالم المختلفة ، إلا أن القليل منة فقط يوجد بشكل مُركز كخام يمكن الإستفادة منه .

حينما تنشطر ذرات معينه من اليورانيوم في تسلسل تفاعلي ، ينجم عن ذلك إنطلاق للطاقة ، وهي العملية التي تعرف بإسم الإنشطار النووي .

ويحدث الإنشطار النووي ببطء في المنشآت النووية ، بينما يحدث نفس الإنشطار بسرعة هائلة في حالة تفجير السلاح النووي . وفي الحالتين يتعين التحكم في الإنشطار تحكماً بالغا .

ويكون الإنشطار النووي في أفضل حالاته حينما يتم استخدام النظائر من اليورابيوم 235 (أو البلوتونيوم 239) ، والمقصود بالنظائر هي الذرات ذات نفس الرقم الذري ولكن بعدد مختلف من النيوترونات ، ويعرف اليورانيوم - 235 ب"النظير الإنشطاري" لميله للإنشطار مُحدثاً تسلسلاً تفاعلياً ، مطلقا الطاقة في صورة حرارية ، وحينما تنشطر ذرة من اليورانيوم -235 فإنها تُطلق نيوترونين أو ثلاثة نيوترونات،وحينما تتواجد الي جانبها ذرات أخري من اليورانيوم -235 تصطدم بها تلك النيوترونات مما يؤدي لإنشطار الذرات الأخري ، وبالتالي تنطلق نيوترونات أخري .

ولا يحدث التفاعل النووي إلا اذا توآفر ما يكفي من ذرات اليورانيوم -235 بما يسمح بأن تستمر هذه العملية كتسلسل تفاعلي يتواصل من تلقاء نفسه ويعرف هذا المتطلب ب"الكتلة الحرجة" .

غير أن كل ألف ذرة من اليورانيوم الطبيعي تضم سبع ذرات فقط من اليورانيوم -235 ، بينما تكون الذرات الأخري ال993 من اليورانيوم الأكثر كثافه ورقمه الذري يورانيوم -238 .

(2-5-2) التعدين :

بعد إستخلاص اليورانيوم ينقل الخام الي اداة لطحنه في صورة مسحوق ناعم ، يتم تكريره بعد ذلك في عملية كيميائية واعادة تشكيله في هيئه صلبة تعرف بإسم "الكعكة الصفراء" ، للونها الأصفر ـ يذكر أن 60% الي70% من الكعكة الصفراء من اليورانيوم ،وهي نشِطة إشعاعياً ،والهدف الاساسي للعلماء النوويين هو ذيادة كمية الذرات من اليورانيوم -235 ، وهي العملية التي تعرف بالتخصيب . ولكي يمكن الوصول الي هذه المرحلة ، يتعين أن يتحول اليورانيوم أولاً الي غاز ، المعروف بإسم سداسي فلوريد اليورانيوم وذلك بتسخينه لنحو 64 درجة مئوية .ولسداسي فلوريد اليورانيوم خواص مؤكسدة وهو قابل للتفاعل بسهولة ، وعلي ذلك يتعين التعامل معه بعناية بالغة ،ويتعين مد أنابيب وإنشاء مضخات خاصة في وحدات التحويل من الألومنيوم والنيكل . كما ينبغي أن يكون الغاز بمنأى عن الزيت ومواد التشحيم حتي لا تحدث أي تفاعلات كيميائية غير مطلوبة .

(2-5-3) التخصيب :

هدف التخصيب هو زيادة نسبة ذرات اليورانيوم ـ 235 الأنشطاري في اليورانيوم .

ولكي يكون اليورانيوم قابل للتفاعل في مفاعل نووي لابد من تخصيبه ليحتوي علي 2-3% من اليورانيوم ـ 235 أما اليورانيوم الداخل في صناعة الأسلحة فلابد أن يحتوي علي 90% يورانيوم ـ 235 أو أكثر .

ومن أساليب التخصيب الشائعة الإستعانة بجهاز طرد مركزي غازي ، حيث يتم تدوير سداسي فلوريد اليورانيوم في غرفة أُسطوانية بسرعات شديدة . ويؤدي هذا الي إنفصال النظير يورانيوم -238 الأكثر كثافة من النظير يورانيوم ـ 235 الأخف.

ويتحرك اليورانيوم -238 الأثقل نحو قاع الغرفة حيث يتم إستخلاصه ، بينما تبقي تجمعات ذرات اليورانيوم ـ 235 الأخف قرب المركز حيث يتم تجميعها .

وبعد ذلك يضخ اليورانيوم -235 في جهاز طرد مركزي آخر ، وتتكر تلك العملية عدة مرات عبر سلسلة من أجهزة الطرد المركزية .

ويعرف اليورانيوم المتبقي - وهو بالأساس من اليورانيوم -238 بعد إزالة كافة ذرات اليورانيوم -235 منه - باليورانيوم المنضب ، وهو معدن ثقيل ومشع بشكل بسيط ويستخدم كمكمون في القذائف الخارقة للدروع وغيرها من الذخائر .

ومن اساليب التخصيب الأخري الإسلوب الذي يعرف بالترشيح . ويعتمد هذا اليورانيوم - 235 ينتشر بسرعة حول مرشح خاص عن السرعة التي ينتشر بها النظير الأثقل اليورانيوم - 238 .

وكما هو الحال مع أُسلوب الطرد المركزي يلزم تكرار هذه العملية مرات عديدة .

(2-5-4) المفاعل :

تعتمد المفاعلات علي اساس أن الأنشطار النووي يولد حرارة يمكن الإستفادة منها وإستخدامها في تسخين المياه لتكوين البخر وتشغيل التوربينات .

ويستخدم المفاعل النووي المعتاد اليورانيوم المخصب في شكل "كريات " من الوقود حجم كل واحدة منها تقريبا حجم العملة وطولها نحو بوصة ، ويتم تشكيل تلك الكريات علي هيئة قضبان طويلة تعرف بإسم الحِزم ويتم الإحتفاظ بها داخل حجرة مضغوطة شديدة العزل .

وفي الكثير من محطات توليد الطاقة يتم تغطيس الحِزم في الماء للإبقاء عليها باردة، وتستخدم محطات أخري ثاني اكسيد الكربون أو المعدن المذآب لتبريد قلب المفاعل .

ولكي يمكن إستخدام اليورانيوم في لإنتاج الحرارة عبر تفاعل متسلسل ينبغي أن تكون قاعدة اليورانيوم قاعدة نشِطة أي أن يكون اليورانيوم مخصباً بما يكفي للسماح بحدوث تسلسل تفاعلي يستمر من تلقاء ذاته .

ولتنظيم هذه العملية ولتمكين المشأة النووية من العمل يتم إدخال قضبان تحكم في غرفة المفاعل وهي قضبان مصنوعة من مادة عادةً ما تكون الكادميوم ، تمتص النيوترونات المتولدة من الذرات داخل المفاعل .

فكلما تم إقلال النيوترونات كلمات تم تحجيم التفاعلات المتسلسلة بما يبطئ من عملية إنشطار ذرات اليورانيوم وتوجد أكثر من 400 محطة نووية لتوليد الطاقة في العالم تنتج نحو 17% من كهرباء العالم . كما تستخدم المفاعلات النووية لتوليد الطاقة للقواصات والقطع البحرية .

(2-5-5) قنبلة اليورانيوم :

هدف مصممو القنبلة النووية تخليق قاعدة نشطة من اليورانيوم المخصب تغذي تفاعلاً تسلسلياً وتطلق كميات هائلة من الحرارة بشكل عنيف .

ومن أبسط تصميمات تلك القنبلة التصميم الذي يطلق علية تصميم "المدفع" . وفي هذا التصميم يتم قذف قاعدة نشطة بكمية أصغر منها من المادة النشِطة مما يؤدي الي إثارة التفاعل التسلسلي لليورانيوم ويحدث إنفجاراً نووياً وتحدث تلك العملية في أقل من ثانية .

ولتخليق الوقود لقنبلة اليورانيوم يتم اولاً تحويل سداسي فلوريد اليورانيوم عالي

ويمكن عمل ذلك بإستخدام عمليات كيميائية وهندسية بسيطة نسبياً ، ويحدث أقوي سلاح إنشطاري بدائي - وهو القنبلة الذرية - إنفجاراً بقوة 50 كيلو طن .

ويمكن زيادة تلك القوة الإنفجارية بإستخدام تكنيك يُطلق علية التعزيز يعمل علي تحجيم خصائص الإندماج النووي .

ويقصد بالإندماج إندماج نوايات الذرات من نظائر الهيدروجين لإنتاج نوايات هليوم ، وتحدث تلك العملية حينما يتم تعريض نوايات الهيدروجين لحرارة وضغط شديدين ، وكلاهما من نواتج القنبلة النووبة .

ويُنتج الإندماج النووي نيوترونات أكثر بما يحفز التفاعل الإنشطاري أكثر وبالتالي يُنجم إنفجار أشد ، ويُطلق علي تلك الأسلحة المعززة إسم القنابل الهيدروجينية أو الأسلحة الحرارية النووية .

(2-5-6) المعالجة :

يقصد بها العملية الكيميائية التي تفصل الوقود المفيد لإعادة تدويرة من النفاية النووية .

ويتم نزع الغلاف الخارجي المعدني للقضبان النووية المستخدمة قبل أن يتم تذويبها في حامض النيتريك الساخن وهو ما ينتج اليورانيوم (96%) والذي يعاد إستخدامه في المفاعلات ، ونفاية شديدة الإشعاع (3%) فضلاً عن البلوتونيوم (1%) .

كل المفاعلات النووية تنتج البلوتونيوم غير أن المفاعلات العسكرية تنتجة بكفاءة أكثر من المفاعلات المبنية لأغراض أخري .

ويمكن إخفاء وحدة معالجة ومفاعل لإنتاج مايكفي من البلوتونيوم في مبني يبدو عادياً من الخارج . وهو ما يجعل إستخلاص البلوتونيوم عن طريق المعالجة خياراً مغرياً لأي بلد يرغب في متابعة برنامج سري للأسلحة.

(2-5-7) قنبلة البلوتونيوم :

يوفر البلوتونيوم عدة مزايا لا تتوفر في اليورانيوم كمكمون لسلاح نووي إذ يكفي نحو اربعة كيلوجرانات من البلوتونيوم لصناعة قنبلة ، بينما تنفجر مثل هذه القنبلة بقوة 20 كيلو طن .

ولإنتاج 12 كيلوجراماً من البلوتونيوم في العام لايلزم سوى منشأة معالجة صغيرة نسبياً .

ويتكون الرأس الحربي من نطاق البلوتونيوم محاط بغلاف من مادة مثل البريليوم تعكس النيوترونات مرة أُخري لمواصلة العملية الإنشطارية .

ويعني هذا إنه يلوم كمية أقل من البلوتونيوم للوصول الي قاعدة نشِطة وإنتاج تفاعل إنشطاري يستمر من تلقاء ذاته .

البلدان الرئسية المصدرة لليورانيوم : إستراليا وكندا والصين وكازاخستان وناميبيا والنيجر وروسيا وأوزبكستان .

(2-6) أنواع المفاعلات النووية :

(2-6-1) المفاعلات النووية أو محطات القوى النووية تستند الي اساسيات ثلاثة في التصميم وهي :

1- مادة إحداث الإنشطار وطاقتها كما في المفاعلات التي تستخدم النيوترونات الحرارية والسريعة .

2- شكل قلب النفاعل (متجانس الوقود أو غير متجانس ، وادوات التبريد وانظمة ووسائل التهدئة) .

3- الإستفدة من الوقود المستعمل .

ونذكر أن في حالة المفاعلات التي يعتمد تصميمها علي الوقود المتجانس في القلب فإن الوقود يكون عبارة عن معدن أو املاح منصهرة أو محلول عضوي ذي قدرة علي الإنشطار آما في المفاعلات ذات الوقود غير المتجانس فإن الوقود عادة هو عبارة عن قضبان محشوة بواسطة أكاسيد المعادن مثل أكسيد اليورانيوم .

ويتم اليوم تصنيف أنواع المفاعلات وفق نوع المهدئ المستعمل في هذه المفاعلات ، فإذا رتبت كتل اليورانيوم المرشحة للإنشطار في طبقات يفصل بين كل اثنين مهدئ فإن المفاعل يسمي في هذه الحالة بالمفاعل غير المتجانس .

أما اذا وضعنا اليورانيوم في المهدئ أو كان مذاباً فيه فإن المفاعل يوصف بأنه متجانس ، كما يمكن أيضاً تصنيف المفاعلات وفق سرعة النيوترونات في مرجل ـ غلاية المفاعل ـ ويمكن الحديث هنا عن مفاعلات سريعه أو متوسطة السرعة أو بطيئة .

وهناك وسيلة ثالثة لتصنيف المفاعلات يحث تعتمد علي الغاية التي يستعمل من أجلها المفاعل ، ونعني في هذه الحالة : مفاعل الأبحاث ، مفاعل إنتاج البلو تونيوم ، أو مفاعل للحصول علي الحرارة ، الكهرباء .....الخ .

(2-6-2) تقسم المفاعلات النووية الي نوعين :

1- مفاعلات الإنشطار النووي : وهي تعتمد علي انشطار ذوي اليورانيوم - 235 أو ما نسمية الوقود النووي الطبيعي ، وهناك مفاعلات تستخدم الوقود النووي الصناعي ، وهو البلوتونيوم - 239 أواليورانيوم -233 وقد تم بالفعل تجريب هذه المفاعلات في الدول الصناعية الكبري .

2- مفاعلات الإندماج النووي : وهي تعتمد علي إندماج النوى الخفيفة وهذه المفاعلات مازالت قيد التطوير حالياً بغية الإستفادة منها مستقبلاً في توليد الطاقة .

(2-6-2-1) تصنيف المفاعلات النووية الإنشطارية :

تصنف المفاعلات حسب عدة قواعد ،منها :

1- حسب طاقة النيوترون أو فعاليتة :

أ- المفاعلات السريعة : إن اغلبية الإنشطارات تحدث بواسطة طاقة النيوترونات السريعة ، ويكون معدل الطاقة عدة مئات من الكيلو إلكترون فولت .

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

ج - المفاعلات المتوسطة : والإنشطارات في هذا النوع تحدث بواسطة النيوترونات ذات الطاقة المتوسطة .

2 - حسب التركيب (الشكل العام) لقلب المفاعل:

أ - المفاعلات المتجانسة : وفي هذه النوع كما ذكرنا فإن الوقود والمهدئ يكونان خليطاً أو محلولاً متجانساً

ب - المفاعلات المتغايرة أواللامتجانسة : وفي هذا النوع فإن الوقود يشتمل علي عناصر مستقلة عن المهدئ الذي إما أن يكون مادة سائلة أو صلبة .

3- حسب إمكانية إنتاج مواد جديدة قابلة للإنشطار:

أ- مفاعلات محولة : وهي تلك التي تنتج مواد قابلة للإنشطار أقل مما تستهلك ، وتعتبر كل مفاعلات اليورانيوم ضمن هذه المجموعة .

ب ـ المفاعلات المولدة : وهي تلك التي تنتج مواد قابلة للإنشطار أكثرمما تستهلك، وكمثال المفاعلات الحرارية والمفاعلات السريعة التي تشتغل علي القاعدة نفسها .

4ـ تصنيف المفاعلات حسب التطبيقات :

أ ـ مفاعلات إختبارية : مثل المفاعلات الضوئية ـ متعلقة بدرجة الصفر الحرارية .

ب ـ المفاعلات الإثباتية : وهي المخصصة لتقديم الدلائل و البراهين العلمية والمفاعلات البدائية ، النماذج الأولية للمفاعلات .

ج ـ مفاعلات الأبحاث : وهي مفاعلات التدفق النيوتروني المنخفض والمتوسط والعالي ، والمفاعلات النابضة ومفاعلات الدفع .

د ـ المفاعلات المقامة لغرض التدريب .

ه ـ مفاعلات القدرة أو مفاعلات الطاقة .

المجموعة الأخيرة من المفاعلات التي تسمي بمتعددة الأغراض نظراً لعدم وضوح المهمة .

وفي الوقت الحالي فإن أغلب المفاعلات المنتشرة في العالم تعود إلي النوع الحراري المتغايرة ، نظراً لانها واعدة فيما يتعلق بالتطبيقات المستقبلية .

كما أن مفاعلات الأبحاث والتدريب تعتبر علي قدر كبير من الأهمية ، لأن أغلب تجارب الفيزياء النووية والنيوترون وأبحاث الكيمياء الإشعاعية تُنجز بواسطة هذا النوع من المفاعلات ، بالإضافة الي إستعمالها كمصدر للنيوترون .

إن المفاعلات التدريبية ـ التعليمية الصغيرة المبنية لحساب بعض الجامعات تقوم بمهام التدريب لعلماء المستقبل في الصناعات النووية ، بجانب تقديمها للأبحاث العلمية المفيدة ، وفي البلدان الصغيرة يمكن أن تتحول المفاعلات التدريبية الي مفاعلات متعددة لأغراض ، يعود ذلك الي إمكانية تحوير تصميهما للإيفاء بالغرض المطلوب ، وعلي سبيل المثال فإن المفاعل النووي نوع (تريحا ـ 2)

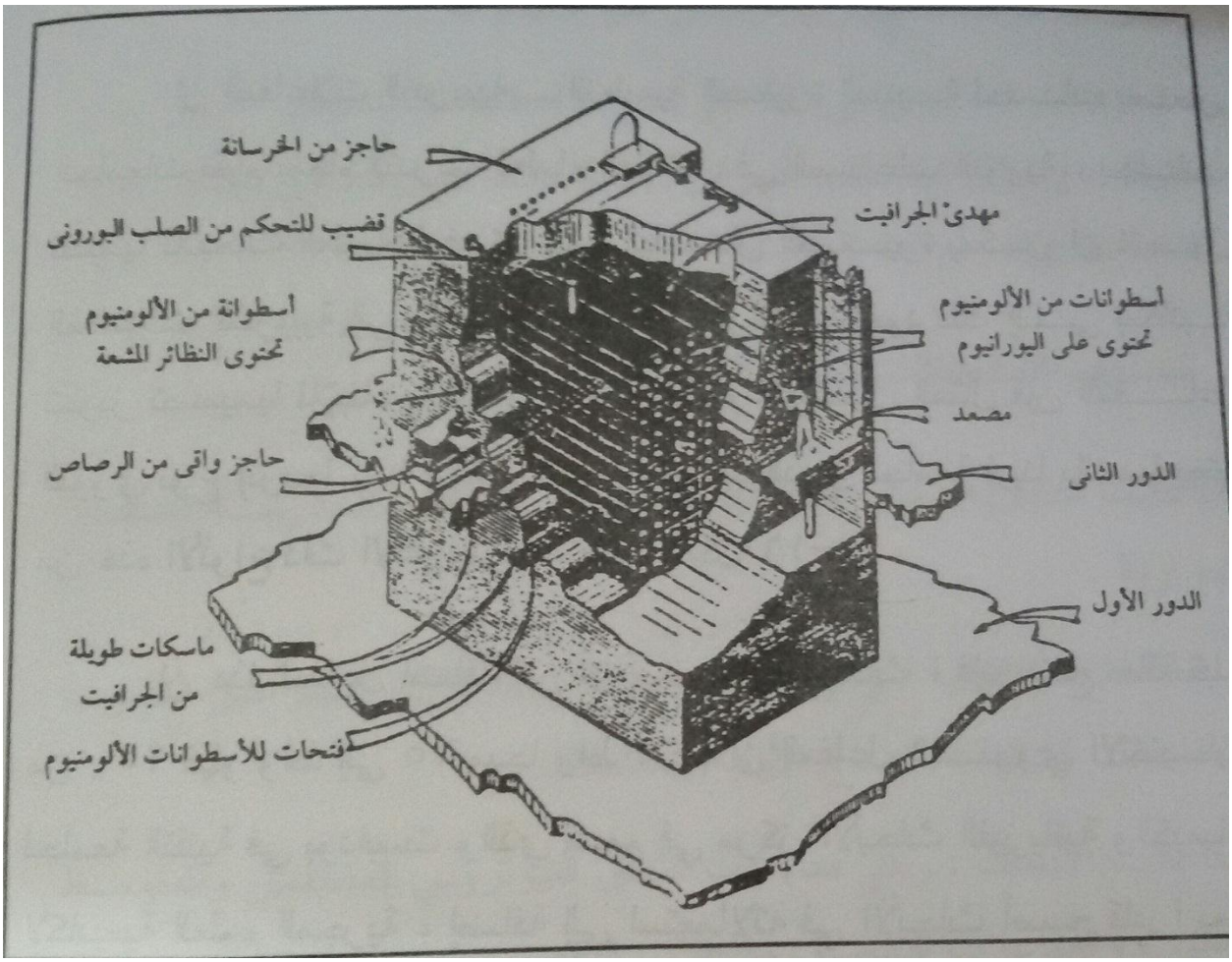
الذي بني في المعهد الذري لجامعة فينيا بالنمسا يعتبر من هذه الأنواع ذات الأغراض المتعددة (شكل 1) .

إن هذا المفاعل إضافة الي أنه مخصص للأبحاث ، فإنه يتنج طاقة تبلغ من 250 كيلو واط الي 25 ميقا واط ، كما أن المفاعل النووي الإختياري لجامعة التقنية في بودابست والزي صمم في مركز الأبحاث الفيزيائية والكيميائية لأكاديمية العلوم المجرية ، إضافة الي إستعمالاته في الأبحاث أصبح قادراً بعد تحويره علي إنتاج (الوقود الحرج) منذ سنة 1971 .

(2-6-2-2)مفاعلات القوى (توليد الطاقه) :

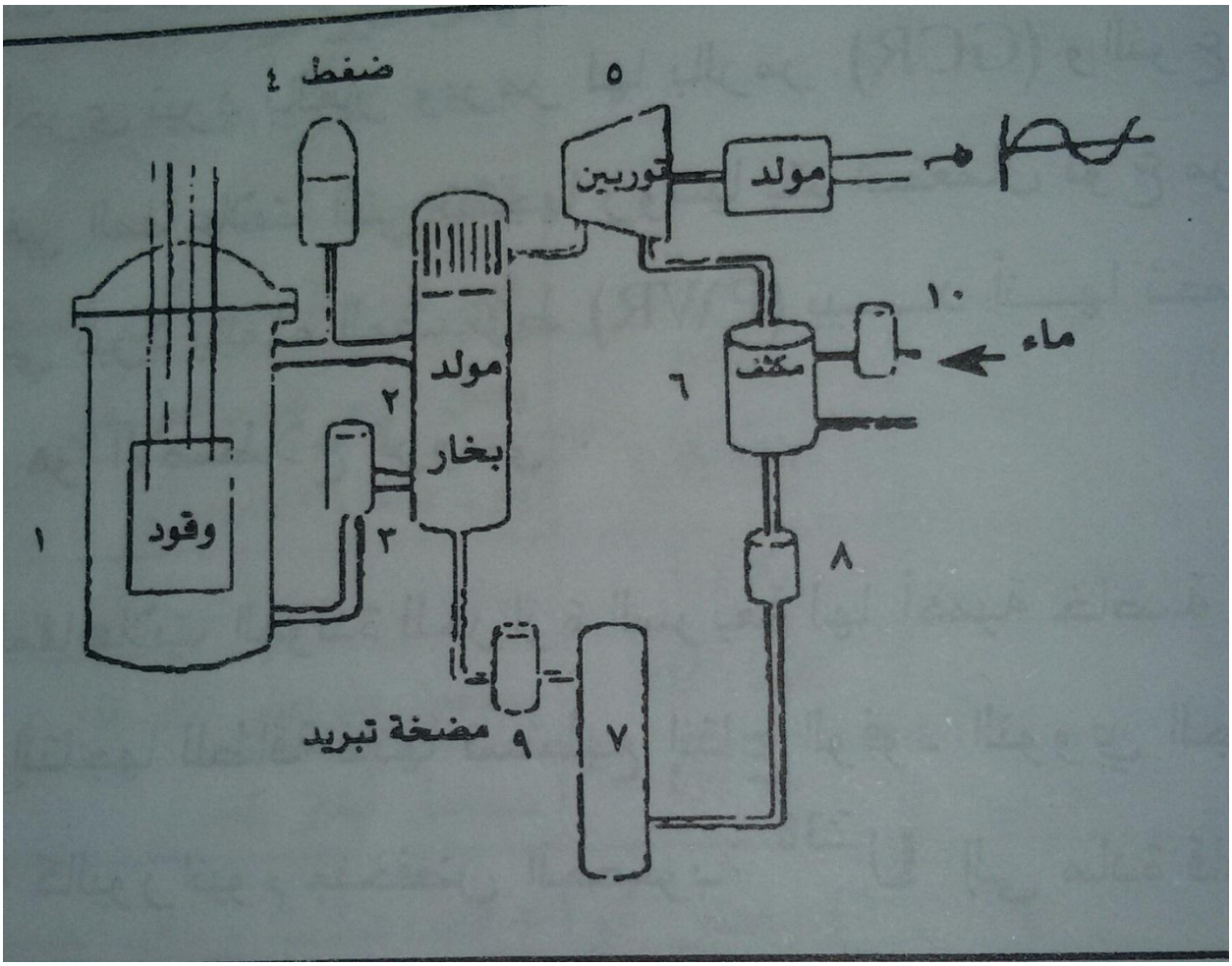
إن المفاعلات التي تبني لغرض إنتاج الطاقه الكهربائية أو الحرارية تسمي مفاعلات القوى ، ويمكن اعتبار هذه المفاعلات مصدراً حرارياً في محطة القوى النووية .

ويعتمد تركيب القوى النووية هذه علي نوع المفاعل المستخدم ، وفي أغلب محطات القوى النووية التي تعمل في الحاضر فإنها تحتوي علي مفاعل نووي إما يبرد بالماء المضغوط ويرمز له باللاتيني (PWR) الشكل(2) أو يبرد من خلال تلطيفة بالماء ويرمز له بالرمز (BWR) الشكل (3) .



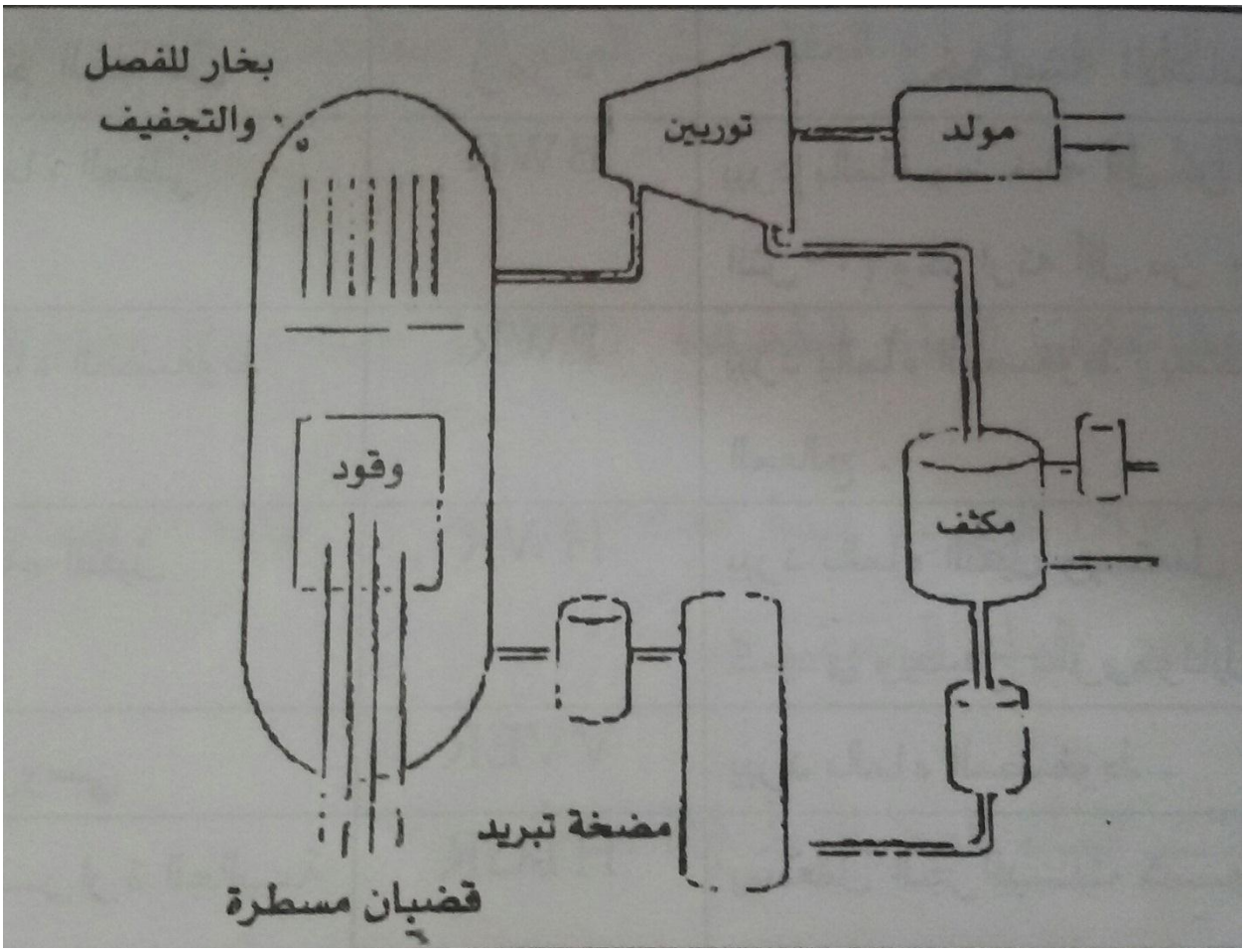
(شكل 1)

مقطع في مفاعل من نوع (تريجا -2)



شكل(2)

رسم تخطيطي لنظام PWR



شكل (3)

مخطط انسيابي لنظام BWR

وهناك مفاعلات قوى يتم تبريدها بالماء الثقيل ويرمز له بالرمز (HWR) وأخري تبرد بالغاز ويرمز لها بالرمز (GCR) والنوع الأخير نادر الإستعمال وفي المفاعلات التي تنتجها روسيا يتم إستعمال نوع من المفاعلات يماثل تلك التي تبرد بالماء المضغوط (PWR) بيد إنها تحمل الأحرف (VVER) وهو الإصطلاح الروسي .

إن المفاعلات المولدة للحرارة السريعة لها اهميه خاصة خلال المستقبل ، لأنها بجانب إنتاجها للطاقة فإنها تستطيع إنتاج الوقود النووي الجديد عبر تحويل المواد العادية كاليورانيوم منخفض الخصوبة 238 الي مواد قابلة للإنشطار كما سبق وأشرنا الي ذلك .

وفي جدول (1) توضيح لبعض أنواع المفاعلات وخصائصها (ما تتميز به) .

إسم المفاعل	رمزه	خواصه الأساسية
مفاعل الماء المغلي	BWR	يبرد بالماء وضغطه أقل من ألف (رطل انش- 2) وحرارته أقل من من 500 درجه مئوية .
مفاعل الماء المضغوط	PWR	يبرد بالماء المضغوط ويصفح بالزركونيوم المعالج.
مفاعل الماء الثقيل	HWR	يبرد بالماء الثقيل ويستعمل الماء الثقيل كمهدئ ويُصفح بالزركونايل .
المفاعل الروسي	VVER	يبرد بالماء المضغوط .
مفاعل الحراره العالية والمبرد بالغاز	HTGR	يستعمل الجرافيت كمهدئ واليورانيوم المخصب بدرجة عالية كوقود ويبرد بواسطة غاز الهيليوم .
مفاعل اليورانيوم - ديوتيريوم (كانو)الكندي	CANDU	يستعمل الماء الثقيل كمهدئ ووقود اليورانيوم ، ومن ميزاته انه يمكن تحميله بالوقود وتفريغه اثناء العمل ووقوده مُصفح بسبيكة الزركونايل
مفاعل التوليد السريع ذو المعدن السائل	LMFBR	يعمل بدون مهدئ ويستعمل مادة الصوديوم السائله كمبرد ومُصفح بالتتاليم ووقوده البلوتونيوم المحاط باليورانيوم الطبيعي أو اليورانيوم المخفف من النظائر المنشطرة .
المفاعل الطبيعي	NR	يعمل باليورانيوم الطبيعي.
مفاعل التوليد	LWBR	يبرد بالماء المخفيف .
مفاعل الإندماج بالليزر	LFR	يستعمل حزمة الليزر في حث الإندماج .

مفاعل هجيني	HF-FR	يستعمل طريقتي الإنشطار والإندماج .
مفاعلات التبريد الغازي	GCR	تستعمل الغاز كمبرد .

ونتطرق الأن بالشرح الي المفاعلات المبردة بواسطة الماء (الخفيف، المضغوط ، الغالي ، الثقيل) وكذلك المبردة بالغاز .

وكذلك الي أهم المفاعلات المسماة بمفاعلات التوليد السريع والتي رمزها (LMFBR).

1 ـ مفاعلات الماء الخفيف :

في عام 1957 قررت هيئة الطاقه الذرية الأمريكية الإهتمام بنوعين من المفاعلات التي تعتمد علي الماء الخفيف وهما :

ـ مفاعلات الماء المضغوط .

ـ مفاعلات الماء المغلي .

حيث يستخدم الماء الخفيف (العادي) كمهدئ للنيوترونات وكمبرد لقلب المفاعل لإستخلاص الطاقه الحرارية والإستفاده بها ، وقد تركت هيئة الطاقة الذرية الباب مفتوحاً للقطاع الخاص في تطوير مبدأ إستخدام الماء الخفيف لما له من خصائص متميزة .

ـ فهو رخيص الثمن .

ـ ومتوفر بكميات كبيرة .

ـ وناقل جيد للحرارة .

ـ ووسط جيد أيضاً لتهدئة النيوترونات .

ونظراً لإحتمال إمتصاص الماء العادي للنيوترونات يكون من الضروري إستخدام اليورانيوم المخصب كوقود ، الأمر الذي يؤدي الي إمكان تصميم المفاعل بحيث تكون كثافة القدرة المتولدة عالية مما يجعل حجم المفاعل صغير لنفس القدرة الحرارية .

من أهم مميزات مفاعلات الماء الخفيف :

ـ بناؤها أقل تكلفة واحجامها أصغر من المفاعلات الأخري .

ـ كفاءتها العالية نسبياً .

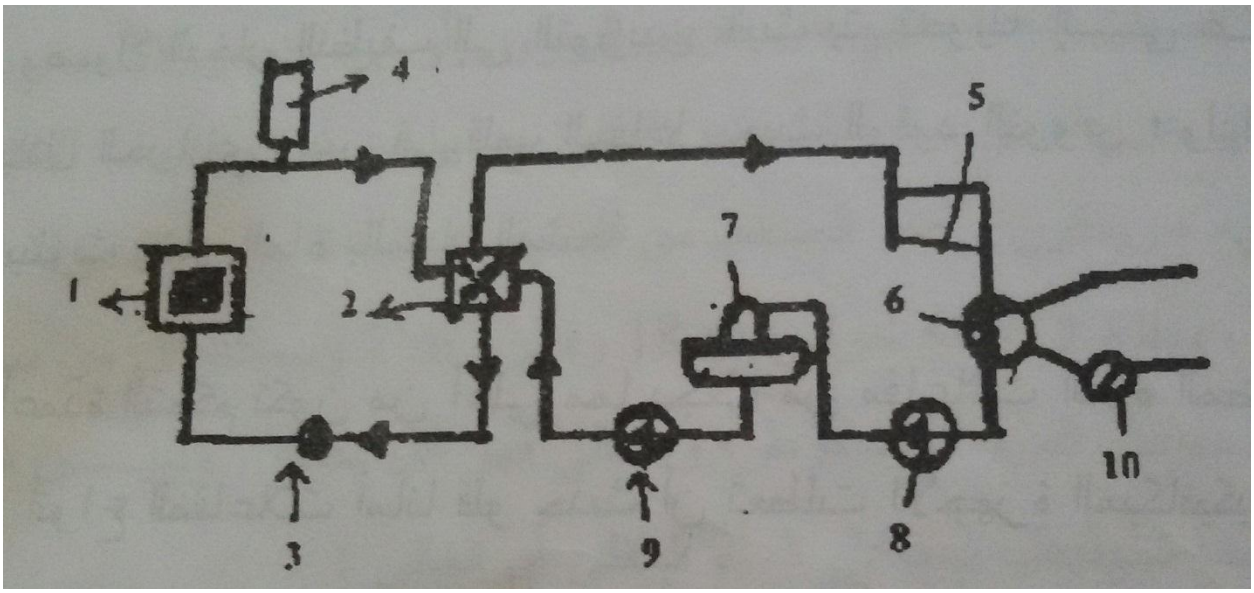
مما حدا بالولايات المتحدة الأمريكية الي إقامة عدة مفاعلات من هذا النوع ، ونجحت في تسويقها عالمياً

2ـ مفاعلات الماء المضغوط :

في محطات القوى النووية التي تستعمل مفاعلات نووية يتم تبريدها بواسطة الماء المضغوط تكون الفكرة هي أن الماء البارد يوضع تحت ضغط عالي جدا للحيلولة دون تبخره ، ويعمل الماء عمل المهدئ ، إن أبسط مخطط لمثل هذا النوع من المفاعلات موضح بالشكل أدناه وتصل حرارة الماء في بعض الأحيان الي 800 درجه مئويه في المفاعل (1) وتنفذ الحرارة الي المراجل ـ الغلاية (2) وعندها تبرد الي حوالي 270 درجه مئوية أو 290 درجه مئوية وتعاد الي المفاعل بمساعدة مضخة دوارة (3) .

إن المنظومة التي يحتويها المفاعل والمتكونه من المرجل ـ الغلاية ـ المضخة الدوارة ، تسمي بالمنظومة الإبتدائية لمحطة القوى النووية ، ويتم الحفاظ علي ضغط مستمر وثابت عند الحد المطلوب في المنظومة الابتدائية بواسطة مضخة خاصة ذات آلية تحكم (4) .

إن البخار المشبع المتكون في (الغلاية) عند ضغط 40 الي 60 بار(حيث البار هو وحدة قياس ، تعادل مليون داين علي السنتيمتر المربع) ذلك البخار يتم توجيهه الي التوربينات (آلة توربينية ذات زعانف دوارة (5) ومن ثم يوجه البخار المكثف (6) حيث يكثف بواسطة الماء البارد المنقول بواسطة المضخة (10) .



شكل (1)

مخطط يوضح قوى نووية تعمل بالماء المضغوط

يعاد الماء المكثف بعد ذلك الي المرجل ـ الغلاية(2) بمساعدة المضخات (9) ، (8) بعد أن يمر من خلال وحدة ازالة الغازات (7) وكذلك المسخن المتقدم الذي لم يظهر في المخطط .

إن المنظومة المتكاملة المغلقة المتكونة من الوحدات المذكورة أعلاه تسمي المنظومة الثانوية لمحطة القوى النووية .

إن الوقود المستخدم في مثل هذه المفاعلات يتألف مما يقارب من 40 ـ 80 طنا من اليورانيوم منخفض التخصيب ، حيث يتم تغير ثلث هذه الكمية كل سنة ، والقوة الناتجة من كل 1 سنتميتر مكعب في قلب المفاعل هي 100 كيلو واط ، كما أن الطاقة النوعية الناتجة التي يمكن أن يصل لها المفاعل هي من 30 ـ 40 جيجا واط يومياً لكل طن من الوقود ، كما أن فعالية المفاعل من هذا النوع يصل الي 33%.

مميزات مفاعل الماء المضغوط:

ـ سعة الإتزان الديناميكي لمسايرة تغير الأحمال .

ـ وصول البخار النظيف الي التوربين حيث يتم تحويله الي غاز في المبادل الحراري وليس في قلب المفاعل حيث الوقود النووي ؛ ولذا لا يمكن أن يتلوث بخار الماء بالمواد المشعة .

ـ أعمدة التحكم تكون من أعلي مما يجعل من مفاعلات الماء المضغوط أكثر أنواع المفاعلات أماناً فلو حدث أن تعطلت الأجهزة الميانيكية لأعمدة التحكم فإنها تعمل ذاتيا تحت تأثير وزنها .

عيوب مفاعلات الماء المضغوط :

تكاليف وعاء الضغط في مفاعل الماء المضغوط علية نسبياً .

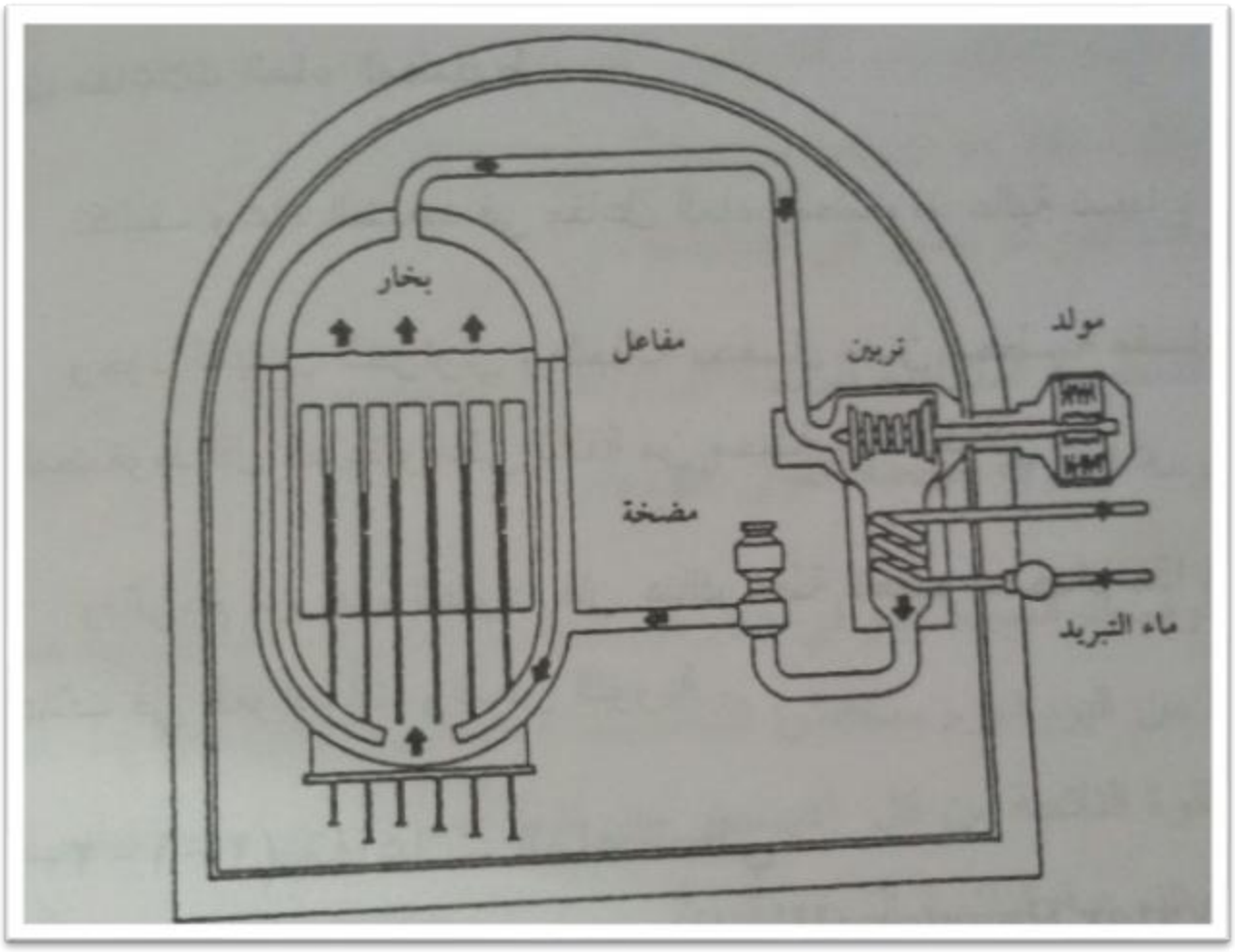
ـ وجود المبادل الحراري وملحقاتة يجعل من محطة مفاعل الماء المضغوط أقل كفاءة وأعلي تكلفة من محطة الماء الغالي .

وبالرغم من هذه العيوب فإن هناك خطة لتعميم استخدام هذا النوع من المفاعلات في الغواصات والسفن النووية .

3ـ مفاعلات الماء المغلي :

يستخدم في هذه المفاعلات الماء الخفيف كمهدئ ومبرد ويسمح له بالغليان في قلب المفاعل ، ومن ثم يجمع البخار ويوجه مباشرة الي التوربين ويكون البخار مشبعاً ودرجة حرارتة حوالي 275 درجة مئوية وضغطة حوالي 70 ضغطاً جوياً ، ويستخدم في العادة وقود ثاني أكسيد اليورانيوم ـ 235 بنسبة 2.6% المغلف بسبيكة الزركومنيوم .

أما قضبان التحكم فهي من كربيد البورون أو من عنصر الكادميوم ، ويتم تحريكها عن طريق محركات كهربائية تزج بها من أسفل لإيقاف الإنشطار أو التحكم فيه ، ويتكون وعاء الضغط من الحديد الصلب المبطن بمواد غير قابلة للصدأ ، ويبلغ إرتفاعه حوالي 18 متر وقطره 7 متر وسمكة أقل من سمك وعاء ضغط مفاعل الماء المضغوط ، وبالتالي فهو أقل تكلفة ويبين الشكل أدناه رسماً تخطيطياً لمفاعل الماء المغلي أو الغالي :



شكل(1)

رسم تخطيطي لمفاعل الماء المغلي

مميزات مفاعل الماء المغلي :

ـ عدم وجود المبادل ودائرة التبريد الثانوية مما يجعل من مفاعل الماء المغلي أعلي كفاءة ، وأقل تكلفه من مفاعل الماء المضغوط .

عيوب مفاعل الماء المغلي :

ـ التوصيل المباشر بين المفاعل والتوربين يقل من الاتزان الديناميكي للمفاعل وقابليتة لمسايرة تغير الإحتمال .

ـ دخول البخار مباشرة الي التوربين وهذا البخار ملوث بالإشعاع وبالتلي إحتمال تلوث التوربين وتصبح عمليات الصيانة صعبة .

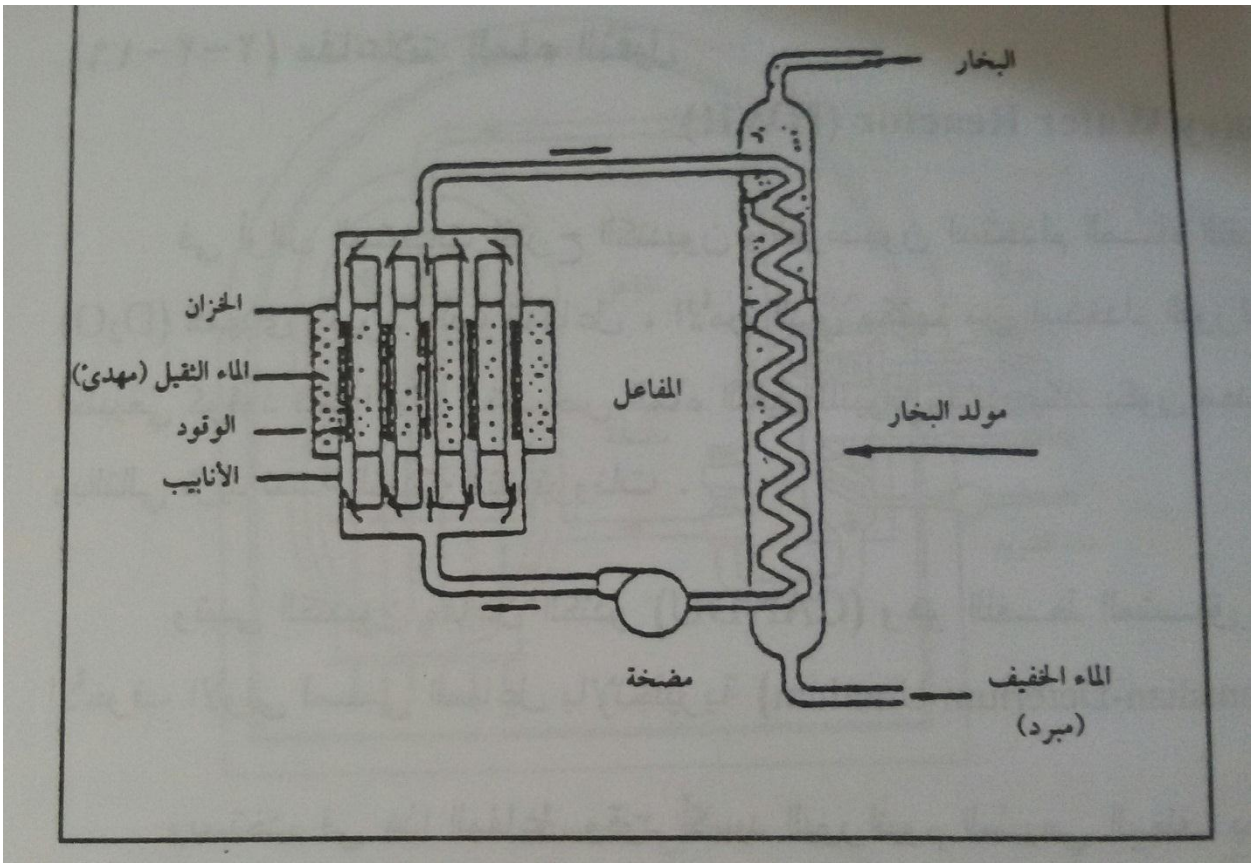
ـ عدم إنتظام فقاعات الغاز أثناء غليان الماء ومشاكل الإنتقال الحراري المصاحبة لها .

4ـ مفاعلات الماء الثقيل :

في أوائل الستينات اقترح الكنديون والفرنسيون استخدام الماء الثقيل كمهدئ ومبرد لقلب المفاعل ، الأمر الذي مكنهم من إستخدام اليورانيوم الطبيعي كوقود نظراً لأن إمتصاص الماء الثقيل للنيوترونات يكاد يكون معدوماً ، وبالتاي تزيد نسبة التهدئة للنيوترونات . وتبني الكنديون مفاعل (CANDO) وهو الذي اللفظ المشتق من الأحرف الأولي لمسمي المفاعل الإنجليزي (Canadian-Deterium Uranium) .

ويستخدم في هذا المفاعل وقود أكسيد اليورانيوم الطبيعي المغلف بسبيكة الزركوتيوم ، ويعمل الماء الثقيل كمهدئ ومبرد في نفس الوقت ، أما أعمدة التحكم فهي من كربيد البورون .

ونظراً لأن المفاعل يعمل تحت الضغط الجوي فإن الضغط المرتفع يكون داخل الأنابيب المحيطة بأعمدة الوقود التي يتدفق فيها مبرد من الماء الثقيل ومن ثم تنتقل الحرارة عن طريق مبادلات حرارية الي دائرة تبريد ثانوية من الماء العادي حيث يتكون البخار الذي بدوره يمر في التوربين كما هو الحال في مفاعل الماء المضغوط. ويوضح الشكل أدناه رسماً تخطيطاً لهذا المفاعل .



شكل (1)

رسم تخطيطي لمفاعل الماء الثقيل

وقد طورت المملكة المتحدة فكرة مفاعل كندو والدورة المابشرة لمفاعل الماء الغالي فيما أسموه بمفاعلات الماء الثقيل المولدة للبخار

Steam Generating Heavy Water Reactors (SGHWR)

ويستخدم الماء الثقيل كمهدئ والماء الخفيف كمبرد ، حيث يتحول الي بخار (كما هو الحال في مفاعل الماء المغلي) ولكن داخل أنابيب التبريد حيث الضغط المرتفع بينما يبقي ضغط المفاعل تحت ظروف الضغط الجوي .

ويستخدم هذا النوع من أكاسيد اليورانيوم الطبيعي المخصب بنظير ـ 235 بنسبة بسيطة تتراوح بين 2 ـ 7 % من اليورانيوم ـ 235 نظراً لوجود الماء الخفيف في قنوات التبريد ـ أما أعمدة التحكم فهي من كربيد الكربون .

مميزات مفاعلات الماء الثقيل :

ـ إن إستخدام اليورانيوم الطبيعي كوقود يجعل الدول التي تشتري هذا النوع من المفاعلات قادرة علي إنتاج الوقود ذاتياً دون الإعتماد علي الدول التي تتبع الوقود المخصب .

ـ قابلية الماء الثقيل لإمتصاص النيوترونات الحرارية ضئلة جداً بالمقارنه مع الماء العادي .

ـ يتم وضع الوقود أفقياً ، وهذا بدوره يسهل عملية شحن وتفريغ قلب المفاعل بالوقود .

ـ مفاعل الماء الثقيل يسمح بإنتاج مادة البلوتونيوم التي تستخدم في صناعة الأسلحة النووية بكفاءة عالية ، وهو ما قامت به كل من إسرائل والهند في برامجها النووية . عيوب مفاعل الماء الثقيل :

ـ تكاليف الماء الثقيل أكبر بكثير من نظيرة الذي يستخدم الماء العادي نظراً لكبر مفاعل الماء الثقيل الذي قد يصل الي سبعة أضعاف نظيره فضلاً عن تكلفة الماء الثقيل تجارياً .

5ـ المفاعلات المبردة بالغاز :

في اوائل الخمسينيات انشأت بريطانيا المفاعلات النووية المبردة بغاز ثاني أكسيد الكربون والتي تستخدم الجرافيت كمهدئ للنيوترونات واليورانيوم الطبيعي المغلف بسائل الماغنسيوم كوقود ، أما قضبان التحكم في التفاعل المتسلسل فكانت من البورون .

مميزات المفاعلات المبردة بالغاز :

ـ إستخدام اليورانيوم الطبيعي .

ـ خلو البخار من الإشعاع .

عيوب المفاعلات المبردة بالغاز :

ـ تدني الكفاءة .

ـ التأثيرات السيئة لغاز ثاني أكسيد الكربون الذي يتحول الي مادة تساعد علي التآكل بشدة عند درجات الحرارة العالية .

ـ ظهور طاقة وجنر الكامنة في الجرافيت المشعع في قلب المفاعل والذي أدي الي حادثة وند سكيل سنة 1957 .

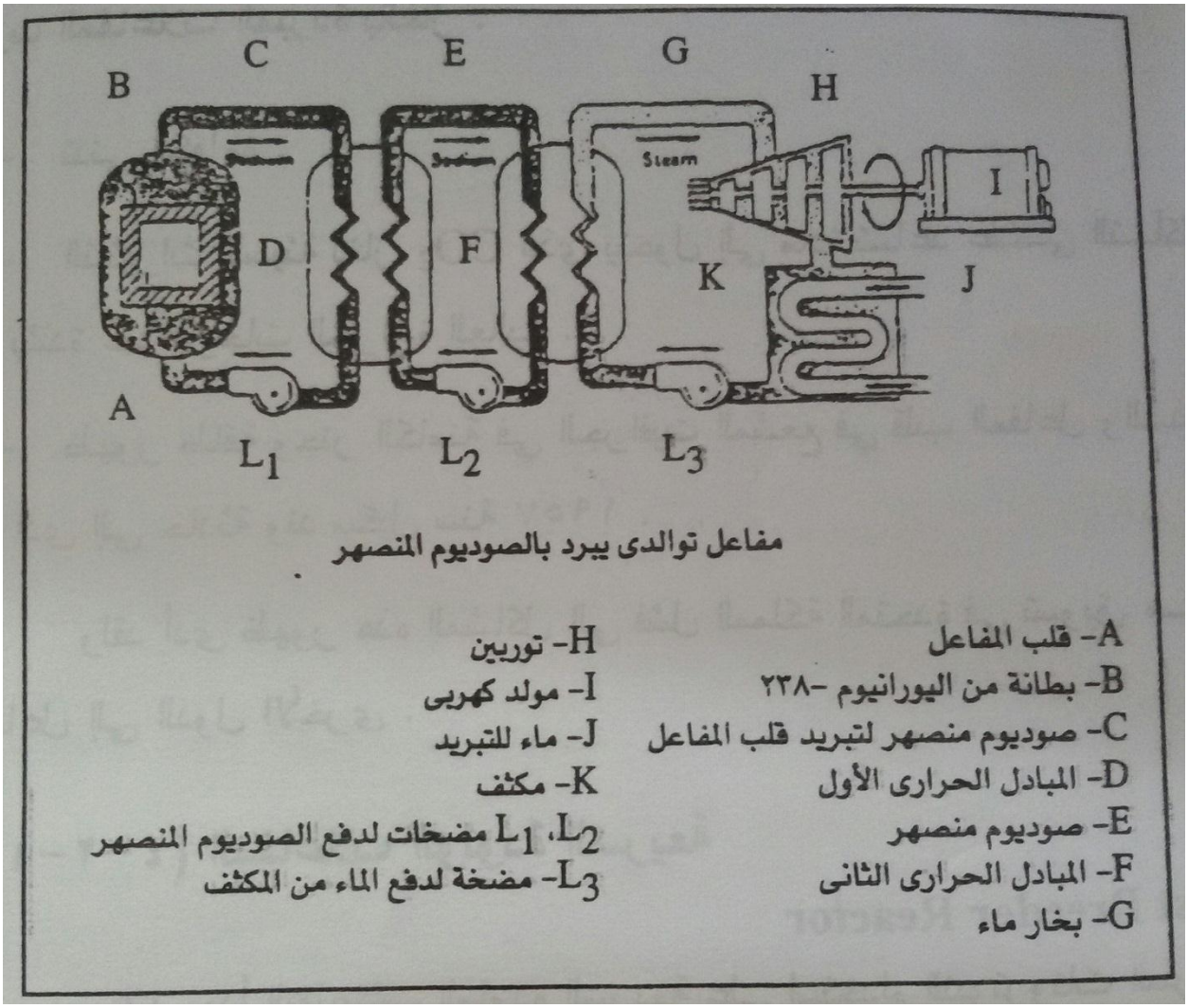
ولقد أدي ظهور هذه المشاكل الي فشل المملكة المتحدة في تسويق هذا المفاعل الي الدول الأخري .

6ـ المفاعلات المولدة السريعة :

يعتمد مبدأ التفاعلات الولوده السريعه على استخدام النيوترونات السريعة دون إبطائها ، وبالتالي لا يستخدم فيه المبردات ذات الوزن الزري الصغير ،ولا الماء على الإطلاق ، وبدلا عن ذلك تستخدم الموائع المعدنية مثل الصوديوم السائل (ينصهر عند 100 درجه مئويه ويغلي عند 950 درجه مئوية) في تبريد المفاعل ونقل الطاقة الحرارية إلى مبادل حراري يتم فيه تبخر الماء وتوجيهه إلى التوربين.

ويستخدم هذا النوع من المفاعلات الوقود المخلوط من ثاني أكسيد اليورانيوم وثاني أكسيد البلوتونيوم بالإضافة الى اليورانيوم _ 238 بنسبة 80% والمغلف بالحديد غير القابل للصدأ حيث يتحول البورانيوم _238 إلى البلوتونيوم_ 239، اي يقوم المفاعل بتوليد مواد أنشطارية جديدة مما يجعل نسبة توليد المواد المنشطرة أكبر من الواحد الصحيح ؛ لذلك سميت بالمفاعلات المولدة .

كما في الشكل ادناه



شكل (1)

رسم توضيحي للمفاعلات المولده السريعة

مميزات المفاعلات الولودة السريعة:

-قلب المفاعل صغير بالنسبة للمفاعلات الخرى كما أن كثافة قوة القلب اكثر بكثير مثيلتها في المفاعلات التي تعمل بالماء المضغوط ومن المرجح أن تكون مرتفعة بعدة مئات من الكيلوواط لكل دسمتر.

-الكفاءة العالمية لتوليد البخار بدرجة حرارة تزيد عن 500 وضغط 170 جوي.

-قلة تكاليف دورة الوقود النووي نتيجة توليد مواد انشطارية جديدة .

عيوب المفاعلات الولودة السريعة :

_ إن المشكلات الرئسية التي يتعرض لها هذا النوع وغيره من محطات القوى هي الاخطاء التكنولوجية ، فمثلا إذا توقفت دورة التبريد لأي سبب من الأسباب فإن عنصر الصوديوم المستخدم في التبريد ينصهر ويتعرض عنصر البلوتونيوم للجو فيتأكسد ويصبح مادة هشة على شكل رماد او غبار يسهل تطايرها في الجو فيتنشقها الانسان .

هذه المفاعلات تستخدم الصوديوم بدلا من الماء في التبريد ولذلك بعض المساوئ

أ-الصوديوم عنصر معتم وليس شفاف مثل الماء ؛ولذلك يصعب رؤية ما يحدث داخل المفاعل وخاصه عند إجراء صيانة او إعادة شحن المفاعل .

ب- ينتج تعرض الصوديوم للنيوترونات أن يتحول إلى نظير وهو عنصر مشع نصف عمره 15 ساعة والمدة الكافية لكي يضعف الأشعاع الصادر عنه ويصبح غير ضار لا تقل عن14 يوما.

ج- من المشكلات ايضا عملية فصل الصوديوم عن الماء المستعمل في الغلاية للحيلولة دون حدوث انفجار حيث إن الصوديوم المستعمل للتبريد يصبح له نشاط إشعاعي عالٍ في المفاعل ، الأمر الذي يتوجب معه عدم إيصاله بالماء .

ولا يزال هذا النوع من المفاعلات تحت البحث والدراسة خصوصاً من حيث عوامل الأمان فيه ، ولكن تظل المفاعلات المولدة هي الوحيدة ذات المستقبل المنتظر ، في حين لا تعدو الأنواع الأخري عن كونها لفترة إنتقالية الي أن يتم تطوير وتحسين المفاعلات المولدة حيث تعتبر هي الهدف الأسمي للأبحاث النووية في الدول العظمي .

(2-7) إستخدامات المفاعلات النوويه :-

يعتبر المفاعل النووى ذا اهميه كبرى فى العصر الحديث وهو من اهم اسباب تطور الدول و تقدمها .

من استخدامات المفاعل النووى اجراء الابحاث العلميه التى يصعب اجرائها فى الطبيعه كما يستخدم لانتاج النظائر خصوصا نظائر العناصر المشعه التى تستخدم لاغراض طبيه و صناعيه وفى الزراعه .

كما يستخدم لانتاج الطاقه الكهربائيه و كثير من الدول يعتبر المفاعل مصدرا مهما لانتاج الكهرباء فيها حيث يولد المفاعل طاقه حراريه يمكن التحكم بها فى ادارة توربينات توليد الكهرباء .

كما يعتبر المفاعل مصنعا لانتاج الاسلحة الكيميائيه و تركيبها مثل تركيب القنابل الذريه المدمره كما تنتج المفاعلات طاقه تستخدم فى تحلية مياه البحر و تسيير بعض السفن .

الباب الثالث

الوقود النووي وطرق إنتاج الطاقة النووية

الباب الثالث

(3-1) مقدمة :

لتشغيل المفاعلات يلزمُنا تزويدها بالوقود ، وهناك مشاكل تتعلق بالوقود وتحضيره وتخزينه و إعادة تصنيعه ثم التخلص بعد ذلك من النفايات النووية الناتجه عن تشغيل المفاعل والتي تتمثل في المواد المشعة الناتجة من الإنشطار النووي . وينتج عن هذا جميعاً مشاكل جمة تتعلق بالتلوث وحماية البيئة منه .

(3-2) الوقود النووي :

(3-2-1) تعريف :

يعرف مسار الوقود خلال المراحل المختلفة التي يمر بها بدورة الوقود() وتستعمل معظم المفاعلات اليورانيوم كوقود . والمصدر الرئيسي لليورانيوم هو خامات اليورانيوم الطبيعية التي تحتوي علي 0.7% من اليورانيوم -235 الإنشطاري والباقي يورانيوم -238 .

الوقود النووي المستخدم في مفاعل الماء الخفيف هو اليورانيوم المخصب وهو يُشكل علي شكل وحدات قفصية الشكل تسمي وحدات الوقود . وتتكون وحدات الوقود من عدد من غضبان الوقود محفوظة في انابيب من سبيكة الزركونيوم 17 في 17 من قضبان الوقود في هيئة قفص يبلغ مقطعه 45 سم في 45 سم وطوله نحو 4 متر .

يستخدم اليورانيوم المخصب في صورة اكسيد اليورانيوم ويتكون في شكل اقراص طول 5و2 سم وقطر 9 و0 سم وتعبأ في الانابيب من سبيكة الزركونيوم ، طول الانبوب 4 متر وتغلق من طرفيها محكمان بحيث لا تخرج منها شوائب مشعة اثناء عمل المفاعل . يحتوي أكسيد اليورانيوم المخصب في العادة على نسبة من النظير الانشطاري اليورانيوم -235 تصل الى 3% . ونظرا لان خام اليورانيوم الطبيعي يحتوي على 0.7% من اليورانيوم -235 النشطاري فقط والباقي يورانيوم 238 لا ينشطر ، فلا بد من استخدام اليورانيوم المخصب بنسبة بين 5-2% و 0-4% باليورانيوم -235 في المفاعلات التي تعمل بالماء العادي حيث يمتص الماء نيوترونات فيمنع من استمرار التفاعل النووي في المفاعل . اي ان نسبة اليورانيوم -235 المقدرة ب 3% تعوض عدد النيوترونات الممتصه في الماء والضائعة بحيث يستمر التفاعل التسلسلي

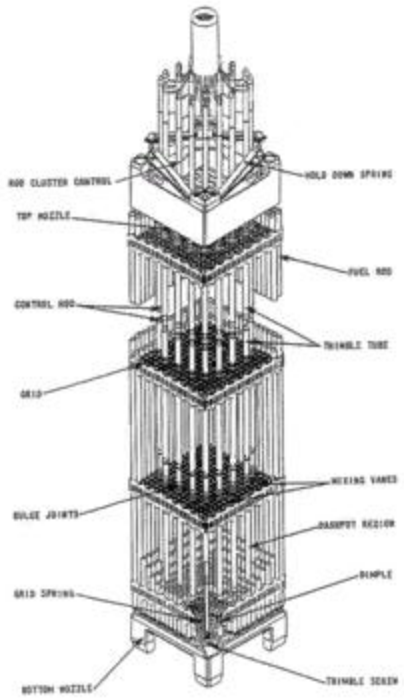
وحدة الوقود في شكل قفص طوله 4 متر يضم قضبان اليورانيوم المخصب
وقضبان التحكم المصنوعة من الكادميوم

قضب الوقود ، ويتكون من أنبوب الزركونيوم
ويعبأ به اقراص أكسيد اليورانيوم

(3-2-2) قضبان التحكم :

تزود كل وحدة وقود بعدد من قضبان التحكم (4 أو 6) و هي مصنوعة من مادة شديدة الإمتصاص للنيوترونات . يُستخدم اهذا الغرض سبيكة من الصلب والبور أو معدن الكادميوم مشكلة في هيئة قضيب يبلغ طوله 4 متر أيضاً . عن طريق رفع أو خفض قضبن التحكم في قلب المفاعل يمكن التحكم في معدل سير التفاعل حيث انها تضبط عدد النيوترونات وتمتص الجزء الزائد منها من قلب المفاعل . ولتوقيف تشغيل المفاعل تغطّس جميع قضبان التحكم في قلب المفاعل فتمتص النيوترونات ويتوقف التفاعل النووي .

(3-2-3) مصفوف قلب المفاعل :



وحدة وقود نووي لمفاعل ماء مضغوط ، تحتوي علي 8×8 من
قضبان الوقود ، وتتخلها قضبان التحكم

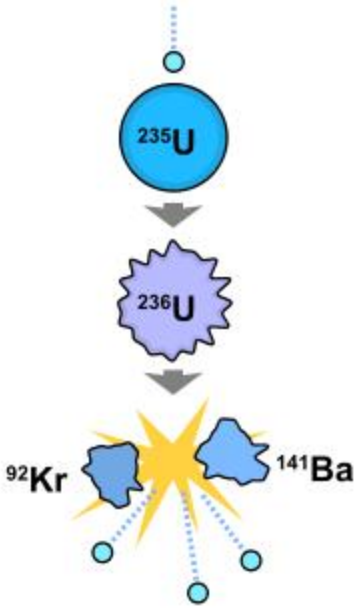
سناخذ هنا مثال مفاعل الماء المغلي للتوضيح ، يتكون قلب المفاعل من مصفوف شبكي اسطواني معدني يحتوي علي فتحات رأسية توضع فيها وحدات الوقود . يبلغ قطر أسطوانة المصفوف نحو 4 متر و هو بإرتفاع 4 متر ويتسع لأخذ نحو 200 من وحدات الوقود (يشبه من أعلي خلايا النحل) . تحتوي وحدة الوقود علي

نحو 1/12 طن من اليورانيوم المخصب ، أي أن المفاعل يعمل بنحو 100 طن من وقود اليورانيوم . هذا بالنسبة لمفاعل قوي كبير ينتج الطاقة الكهربائية بقدرة 1000 ميجا واط .

(3-2-4) وحدات الوقود :

يوجد قلب المفاعل الذي يحتوي علي 200 من وحدات الوقود في وسط خزان ضغط المفاعل ، وهو يعتبر غلاية اسطوانيه مغلقة قطر 5 متر وارتفاعها 7نحو متر . يبلغ سمك جدار خزان الضغط للمفاعل نحو 25 سنتميتر وهو مصنوع من الفولاذ . ينفذ من خزان الضغط انابيب لضخ الماء فيه وأنابيب أخري لخروج البخار من خزان الضغط وعودة البخار المكثف اليه . تغطي وحدات الوقود في قلب المفاعل بالماء النقي ، الجزء العلوي من خزان الضغط في شكل القبة ويمكن فصله من الخزان بغرض استبدال وحدات الوقود المستهلكهة ، وعند إغلاقة فيتم ذلك بإحكام حتي يصل الضغط داخله اثناء التشغيل نحو 400 ضغط جوي .

(3-2-5) إنشطار اليورانيوم -235 :

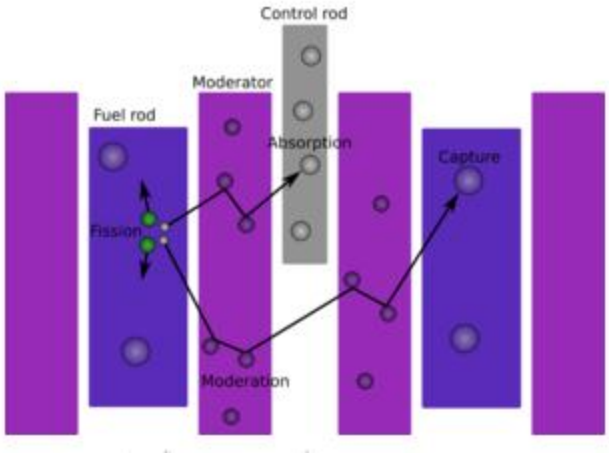


تبتلع نواة اليورانيوم -235 نيوتروناً بطيئاً ،فتنقسم الي جزئين يتحركان بسرعة عالية ،كما تطلق 3 نيوترونات عند بدء التفاعل المتسلسل في المفاعل تصطدم النوترونات البطيئة مع انوية ذرات اليورانيوم -235 فتنشطر بعضها الى جزئين ويكون ذلك مصحوبا بانطلاق من 2 الى 3 من النيوترونات . وتخرج من قضبان الوقود لتصتدم بالماء الذي حولها فتهدا سرعتها و تصبح قادرة على الاصتدام بانويه جديدة من اليورانيوم -235 ، منتجه هي الاخرى نيوترونات وبهذا يستمر التفاعل المتسلسل الانشطاري مع اليورانيوم .ولكن لا بد للتفاعل المتسلسل الانشطاري أن يسير بمعدل ثابت ، ولا يسمح له للتزايد المستمر مثل القنبله حيث ينتج عن كل نيوترون يتفاعل مع احد انوية اليورانيوم -235 بين 2و3 نيوترونات جديده تسطتيع بدورها التفاعل مع انوية اليورانيوم منتجة 9 نيوترونات ، وهذه تتفاعل مع اليورانيوم و تنتج 27 نيوترونا وهكذا وهذا ما يحدث في القنبلة الذرية . ولكن في مفاعل القوى يجري التحكم في سير التفاعل عن طريق قضبان الحكم المحتوية على الكادميوم التي تمتص النيوترونات الزائدة وتحافظ على ان يكون معدل سير التفاعل مساويا للواحد . اي بجيث كل نيوترون يتفاعل مع اليورانيوم وينتج مثلا 3 نيوترونات ، فتقوم قضبان التحكم بامتصاص 1 نيوترون ويمتص الماء 1 نيوترون بالتقريب ويبقى 1 نيوترون للتفاعل مع اليورانيوم -235 وهمذا . وتسمى تلك الحالة بالحالة الحرجة للمفاعل .

قضبان التحكم المصنوعة من الكادميوم تشغل اماكن بينية بين قضبان الوقود ، وكل وحدة وقود مزودة بعدد ، يمكن رفعها او خفضها في المفاعل و تضبط معدل سير التفاعل تلقائيا . كما يمكن بواسطتها ايقاف التفاعل كليا . و ذلك بدفع جميع قضبان التحكم كلية فب قلب المفاعل بين وحدات الوقود ، فيمتص الكادميوم جميع النيوترونات ويتوقف التفاعل النووي .

ينتج عن كل انشطار لنواة اليورانيوم -235 نحو 200 ميجا إلكترون فولت من الطاقة ن وهي تظهر في صورة طاقة حركة نواتج الانشطار ، و ترفع درجة حرارة الماء و تسخنه . ويستغل البخار الناتج في تشغيل التوربين و المحول الكهربائي الضخم الذي ينتج بدوره التيار الكهربائي .

(3-2-6) التحكم :



رسم توضيحي لعمل المفاعل النووي . أنابيب اليورانيوم (أزرق).ماء يهدئ سرعة النيوترونات وينقل الحرارة وينتج البخار (بنفسجي) .وقضيب التحكم ماص للنيوترونات الزائدة (رمادي اللون)

يبين الشكل أعلاه الأجزاء الرئيسية لقلب المفاعل النووي ، وهي وحدات الوقود والمهدئ (الماء) وقضبان التحكم ،يولد المفاعل النووي بخار تحت ضغط قدره نحو 400 ضغط جوي عند درجه حرارة 450 درجة مئويه ،يخرج البخار من خزان ضغط المفاعل ويوجه الي توربين الذي يدير بدوره المولد الكهربائي الكبير الذي ينتج 1000 ميجا وات من التيار الكهربائي .

(3-2-7) أنواع الوقود النووي :

(3-2-7-1) ثاني أكسيد اليورانيوم :

يستعمل ثاني أكسيد اليورانيوم المحتوي علي نسبة 3% من يورانيوم -235 الإنشطاري في المفاعلات الأكثر إنتشاراً مثل: مفاعل الماء المغلي ومفاعل الماء المضغوط في محطات القوى لتوليد الكهرباء

(3-2-7-2) أكسيد مخلوطMOX :

هو مخلوط اليورانيوم -239 واليورانيوم الطبيعي أو اليورانيوم المتبقي من عملية تخصيب اليورانيوم (يورانيوم منضب) وتكون مواصفات المخلوط معدله لمواصفات الوقود المخصب باليورانيوم -235 . وقد

جرب إستخدامه في عدة مفاعلات من مفاعل الماء المضغوط ومفاعل الماء المغلي ، ونجح إستخدامها ويستخدم بعضاً منها الي جانب الوقود النووي العتاد في تموين المفاعلات النووية بالوقود .

وينتج البلوتونيوم -239 من مفاعلات الماء الخفيف المعتمدة علي اليورانيوم المخصب ،ويتم فصل البلوتونيوم من وحدات الوقود المستهلكة في مصنع خاص يقوم بتدوير المواد النووية

، كما يمكن إستغلال البلوتونيوم الموجود في القنابل النووية بعد تفكيكها في إطار الحد منreprocessing

التسلح النووي ،وخلطها مع اليورانيوم الطبيعي لتصنيع وحدات وقود تستخدم لإنتاج الطاقة .

(3-2-7-3) الثوريوم :

يستخدم نظير الثوريوم -232 الذائب في الأملاح في مفاعل ملح منصهر لإنتاج الطاقة علي المستوي الصغير في مفاعلات تجريبية ، وقد أُستخدم الوقود السائل المحتوي علي الثوريوم في صورة مخلوط من .

ويتميز :liF-BeF2-ThF4-UF4(72-16-12-0.4mol)الليثيوم والبيريليوم والثوريوم وفلوريد اليورانيوم

هذا الوقود المنصهر بدرجه حرارة تصل الي 700 درجة مئوية ، كما تبين الإختبارات إمكانية رفع درجة الحرارة هذه حيث أن درجه غليان المخلوط المحلي تبدأ عند 1400 درجة مئوية .

(3-2-7-4) وقود ماجنوكس magnox:

قضيب وقود ماجنوكس

في إنجلترا يستخدم نوع من المفاعلات تُبرد بثاني أكسيد الكربون ويستخدم فيها الجرافيت كمهدئ لسرعة النيونرونات وهي تعمل باليورانيوم الطبيعي (ليس مخصب) وتحفظ الوقود في أنابيب من سبيكة ماجنوكس، وتتكون سبيكة ماجنوكس من المغنيسيوم والألمنيوم وهي سبيكة غير قابلة للصدا وتستخدم فقط لتغليف اليورانيوم الطبيعي في المفاعل . ماجنو هي إختصار ل :

وتتميز تلك التغلفة بقلة إمتصاصها للنيوترونات.Magnesium non- oxidizing

(3-2-7-5) وقود إندماج نووي :

ينتمي الي وقود الإندماج النووي للتريتيوم والديتريوم وهي نظائر الهيدروجين . ويتميز الإندماج النووي عن تفاعل الإنشطار النووي في كونه يطلق كثافة حرارية أعلي من المفاعل النووي . وتجري تجارب باهظة التكاليف لإستخدام تفاعل الإندماج النووي في إنتاج الطاقة ونجح العلماء في إستمرار التفاعل لمدة دقائق ،

ولكن الطاقة الكهربائية المستخدمة في تلك التجارب لا تزال أعلي بكثير من الطاقة المكتسبة من المفاعل ، هذا هو مستو البحث الأن .

(3-3) الطاقة النووية :

عندما كان العالم الالماني اوتوهان يواصل بحوثه في تخليق العناصر التي تلي اليورانيوم في الترتيب وحصل علي البلوتونيوم -239 وعند قذف هذا العنصر بنيوترونات بطيئة فوجئ أوتوهان بما لم يكن في الحسبان من عجائب هذا الزمان فلقد انشطر البلوتونيوم الي عنصرين وهما الكربتون والباريوم وخرجت دقائق ألفا ونيوترونات جديدة في تفاعل إنشطاري نووي متسلسل تقوم فيه النيوترونات الجديدة بمهاجمة ذرالت بلوتونيوم أخري تودي إنقسامها مصحوباً بنقص في كتلة النواتج وهذا النقص يظهر علي هيئة طاقة هائلة تدعي بالطاقة النووية .

الباب الرابع

طريقة عمل الدروع والحماية من الإشعاع

(4-1) تدريع المفاعل النووي :

(4-1-1) مبادي في تدريع المفاعلات :

تصمم الدروع البيولوجية والتي يجب وضعها حول المفاعل النووي في نقاط متنوعة من محطة توليد الطاقة النووية بغرض وقاية العاملين والمواطنين من الإشعاعات المنبعثة من المنشأة ، ومن منابع الإشعاع :

1- نيوترونات إنشطارية فورية : وهي تنبعث من قلب المفاعل وتعتبر أكثر الإشعاعات أهمية في تصميم الدروع البيولوجية.

2- نيوترونات إنشطارية متأخرة : لا تؤخذ هذه النيوترونات في إعتبار هام لان عددها ضئيل من جهة ومن جهة أخري لان طاقتها منخفضة وتنبعث خارج قلب المفاعل .

3- أشعة قاما الإنشطارية الفورية : تصدر في قلب المفاعل ويتم توهينها بشكل واسع من قبل الوقود في قلب المفاعل .

4- ناتج الإنشطار الناجم عن تفكيك أشعة قاما :ينبعث من الوقود وأشعة قاما وهذه هي منبع إشعاع متواصل بعد توقف المفاعل .

5- اشعة غاما المرنة : هى التى تم اصدارها من قبل نوى بقيت فى حاله مستحثه نتيجه للتبعثر النيوترونى غير المرن.

6- أشعة الناتجه عن الأسر : تصدر هذه الأشعه فى كل مره يتم امتصاص نيوترون من قبل نوى فى تفاعل آسر إشعاعى .

7- أشعه غاما الناجمه عن التنشيط: تصدر هذه الاشعه عن النكليدات المشعه التى تشكلت نتيجه للامتصاص النيوترونى.

(4-1-2) تدريع المفاعل :-

يصمم درع المفاعل بحيث يتم من جهة توهين الاشعه النيوترونيه و اشعة غاما المنبعثه من قلب المفاعل و من جهة اخرى توهين اشعه غاما الصادره عن التفاعل .

(4-1-2-1) أشعه غاما:-

يتم توهين اشعه غاما من خلال الامتصاص فى المواد الثقيله .

تستعمل انواع ثقيله من البيتون مثلاً الباريت – بيتون يستعمل فى التدريع المتحرك او اليورانيوم غير المغنى .

(4-1-2-2) نيوترونات سريعه :

يجرى توهين النيوترونات السريعه من خلال التهدئه فى مواد خفيفه حيث يحصل بذلك انتاج نيوترونات حراريه .

لتهدئه النيوترونات السريعه يستعمل بيتون يحتوى على 20% من الماء

وفى حالة التدريع المتحرك تستخدم مواد تحتوى على البرافين (البور- برافين).

(4-1-2-3) نيوترونات حراريه :

يجرى توهين النيوترونات الحراريه بواسطه مواد ذات مقطع امتصاص كبير.

(4-1-2-4) الدرع الحرارى :

فى مفاعلات الماء المضغوط يحاط قلب المفاعل بجدار من الفولاذ يسمى (الدرع الحرارى) الذى يستخدم لتوهين الاشعاع النيوترونى و لحماية حاوى الضغط من تشقق سابق لاوانه .

هذا الخطر غير موجود لدى مفاعلات الماء الغالى لأن جدار حاوى الضغط يسبب توضع مضخات الجريان و يكون بعيدا جدا عن قلب المفاعل.

(4-1-2-5) تدريع بيولوجى :

يوهن التدريع البيولوجى المكون من البيتون حقل الاشعه ليصل الى مقدار بيولوجى مسموح به.

بذلك يسخن البيتون ومن ثم يبرد بالهواء فى المنطقه الداخليه .انظر الشكل أدناه :

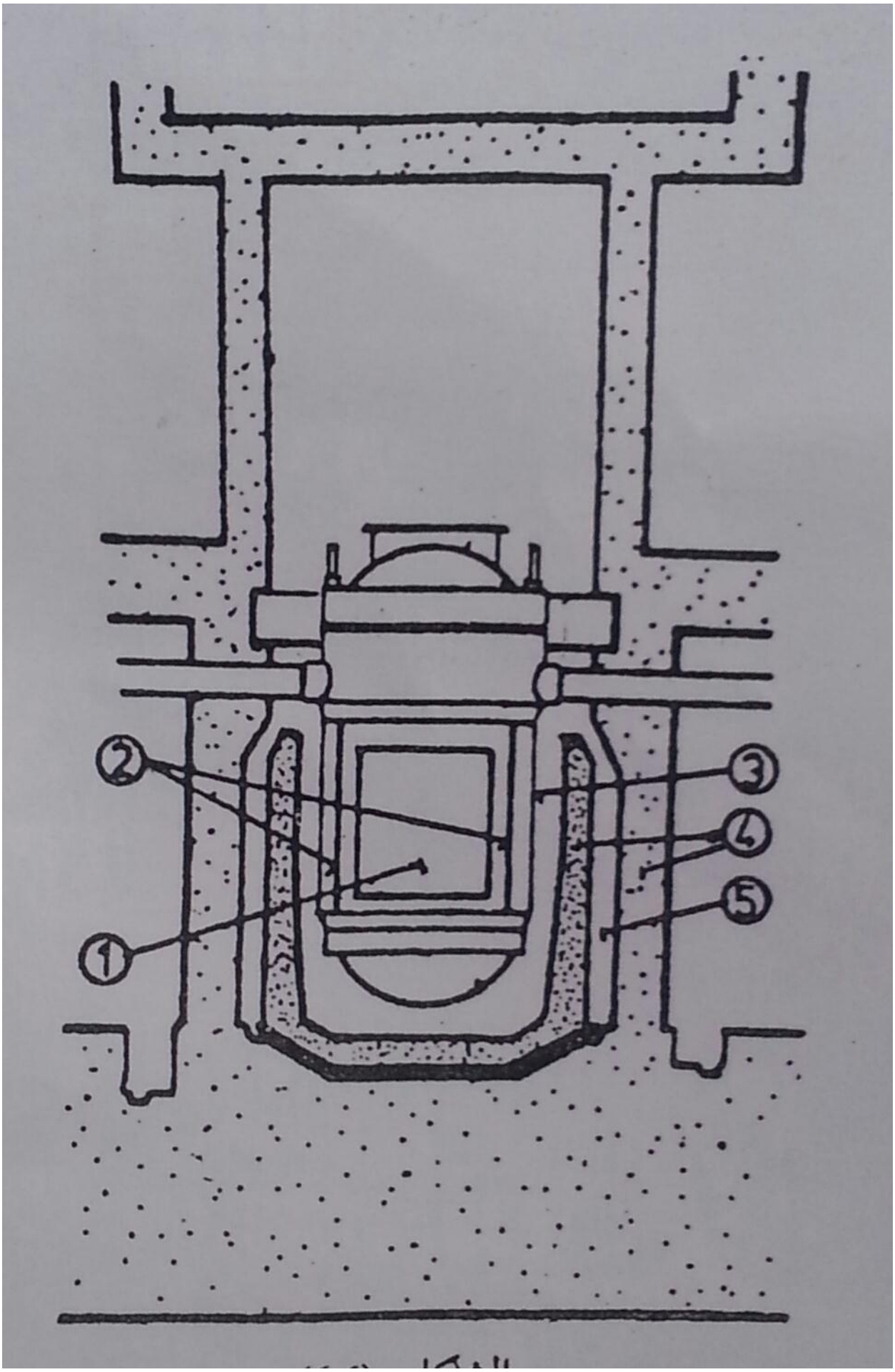
1- قلب المفاعل

2- تدريع حراري

3- حاوي ضغط

4- تدريع بيولوجي

5- فجوة هواء للتبريد


1
2
3
4
5

بما أن الإشعاع موجود في المفاعلات النووية وفي المنشآت التي تستخدم الطاقة النووية ، فإنه يتوجب علي مصممي هذه الأنظمة أن يأخذو في الإعتبار مسائل تدريع هذا الإشعاع لوقاية المشتغلين في هذه المنشآت وبالتالي لوقايه الناس من هذا الاشعاع تقع مسؤولية مواصلة مراقبة جميع الامكانيات على عاتق المختصين في فيزياء الصحه لكى لا يتعرض الافراد الي جرعات اشعايعة ضاره وغير ضروريه. يعتمد معيار تدريع الاشعاع ووضع برنامج للسلامه الصحيه علي تاثيرات الاشعاع علي جسم الانسان .

التوصيات :

للمفاعلات النووية اهمية كبرى في الحياة المعاصرة وخصوصا في الاغراض السلمية فبالتالي يجب الاهتمام بها لتوفير مصدر هام للطاقة وتدريب وتأهيل الكوادر في هذا المجال وزيادة الكفاءة لديهم والاستفادة من خبرات الدول الكبرى الرائدة في هذا المجال حتى تصبح البلاد من البلدان المتقدمة والمتطورة .

الخاتمة

في ختام هذا البحث نسأل الله ان يتقبل هذا الجهد المتواضع وأن ينفع به كما نتمنى ان يسهم في التعريف بالاستخدامات السلمية للمفاعلات النووية وان يقدم صورة مبسطة عن المفاعلات النووية.

والله ولي التوفيق

المراجع :

- **الفيزياء النووية / احمد الناغي , محمد نبيل يس البكري – دار الفكر العربي 2005**
- **هندسة الاشعاع النووي / محمد عبدالرحمن أل الشيخ , احمد نصر كداشي , محمد عبد الفتاح عبيد – الرياض 2004.**
- **الاشعاع النووي والوقاية من التلوث – الطبعة الاولى / الدكتور المهندس مطاوع الاشهب 1991.**