

الفصل السادس

المفاعلات النووية Nuclear Reactors

❖ تعريف المفاعل : المفاعلات النووية عبارة عن منشآت ضخمة يتم فيها السيطرة على عملية الانشطار النووي المتسلسل والناتج عن وضع كمية من الوقود النووي ثم تعريضها الى مصدر نيوتروني . فعند تعرض ذرة الوقود (عادة يكون الوقود U^{235}) الى نيوترونات فانها قد تمتص احد هذه النيوترونات المصطدمة بها ، ونتيجة لذلك فاننا نحصل على نيوترون او اكثر عند انشطار U^{235} . وكما مر سابقا ، فان عملية الانشطار المتسلسل تنشأ من اصطدام احد النيوترونات الناتجة عن الانشطار بذرة وقود اخرى وبذلك نحصل على انشطار جديد وعدد آخر من النيوترونات . فالمفاعل يسيطر على هذه التفاعلات وينظمها بشكل يمنع من ان تصبح الطاقات المتولدة من الانشطار عالية جدا قد تصهر المفاعل وتعرضه للخطر.

❖ مكونات المفاعل النووي :

يتكون اي مفاعل نووي من الاجزاء التالية :-

1- القلب Core : هو عبارة عن مكعب ضخم يوضع في داخله الوقود والمهدئ والمبرد

حيث يحدث التفاعل المتسلسل وتتولد الطاقة .

2- الوقود النووي Nuclear Fuel : يتكون من قضبان من المواد الانشطارية مثل

اليورانيوم او اية مادة اخرى وتكون مغلفة بغلاف جيد من التآكل والتأكسد.

3- المهدئ Moderator : الغرض منه هو ابطاء سرعة النيوترونات العالية الطاقة

حتى تصبح السرعة ملائمة لحدوث التفاعل المتسلسل ، واهم المواد التي تصلح

لهذا الغرض هي الكرافيت النقي والماء الثقيل (الماء الذي يحتوي على الديتريوم

بدلا من الهيدروجين وتركيبه الكيميائي D_2O) .

4- قضبان السيطرة Control rods : والغاية منها السيطرة على عملية التفاعل المتسلسل فهي تتكون من مواد لها قابلية كبيرة على امتصاص النيوترونات مثل البورون والكادميوم ، حيث تنزل هذه القضبان في ثقوب مخصصة لها داخل قلب المفاعل ، ويمكن لهذه القضبان التحرك آليا صعودا ونزولا للحفاظ على سرعة التفاعل وإبقائها بالمعدل المطلوب او إيقاف التفاعل تماما عند الضرورة.

5-المبرد Coolant : وهو المادة التي تستعمل في تبريد قلب المفاعل وتخليصه من الحرارة كي لا ينصهر ويحدث التلوث وبنفس الوقت يستفاد من هذه الحرارة لتحويلها الى طاقة كهربائية . وتجري عملية التبريد بواسطة الغازات مثل غاز ثاني اوكسيد الكربون المضغوط او الماء الاعتيادي او الصوديوم السائل .

❖ كيف يعمل المفاعل :-

يبدأ تشغيل المفاعل بواسطة مصدر نيوتروني يوضع في داخل المفاعل يعطي النيوترونات الاولى لحدوث التفاعل ثم تسحب قضبان السيطرة تدريجيا وبصورة بطيئة عندها يجهز المفاعل نفسه بنفسه من النيوترونات التي يحتاجها نتيجة انشطار ذرات U^{235} . فالنيوترونات المتولدة من هذا الانشطار تتحرك بحرية داخل قلب المفاعل وتزداد اعدادها عندما يشطر جزء منها U^{238} . فتحرر نيوترونات سريعة اخرى وفي هذه الاثناء تبدأ النيوترونات بفقد طاقتها العالية بسبب تصادمها مع نوى المهدئ فتتوقف انشطارات نوى U^{238} . وتستمر طاقات النيوترونات بالانخفاض حتى تصل الى طاقات واطئة جدا تصل الى طاقات النيوترونات الحرارية وفي هذه المرحلة يبدأ U^{238} بامتصاص النيوترونات ، اما النيوترونات التي تنجو من هذا الامتصاص تقوم بشطر نوى U^{235} وتعاد دورة الانشطار المتسلسل مرة اخرى وهكذا . وخلال عمل المفاعل يتسرب جزء من النيوترونات خارجا عنه وترتفع نتيجة لانشطارات النووية درجة حرارة القلب فيقوم تيار التبريد بتبريده بعد ان يمر في التجاويف الحلقية لقضبان السيطرة والوقود فينقل الحرارة المتولدة الى الخارج.

ويسيطر على تسرب النيوترونات باستخدام عاكس يغلف قلب المفاعل ويقوم هذا العاكس بارجاع النيوترونات التي تحاول ترك قلب المفاعل عندما تصطدم به فتستطار وتعود مرة اخرى اليه وهكذا يحافظ قلب المفاعل على اكبر عدد ممكن من نيوتروناته . ويمكن السيطرة على المفاعل بتحريك قضبان السيطرة الى داخل وخارج قلب المفاعل . وللوصول والمحافظة على قدرة ثابتة في مفاعل ما يجب توليد عدد النيوترونات نفسه في وحدات زمنية متعاقبة وبعبارة اخرى يجب ان يبقى عدد النيوترونات في اجيال التفاعل المتسلسل المتعاقبة ثابتا .

ملاحظة : تسمى النسبة بين عدد الانشطارات للجيل الواحد الى عدد الانشطارات للجيل الذي سبقه مباشرة بعامل التكاثر او المضاعفة Multiplication Factor . ويرمز لهذه النسبة بالرمز K . ولها حالات :

1- عندما تكون $K > 1$ يستمر المفاعل في انتاج النيوترونات اكثر مما يستهلك وعندئذ يقال ان المنظومة في حالة فوق الحرجة ، فيزداد عدد النيوترونات مع الزمن ويحصل الانفجار .

2- عندما تكون $K < 1$ يكون عدد النيوترونات المنتجة اقل من المستهلكة ، وفي هذه الحالة يقال عن المنظومة بانها تحت الحرجة ، فيقل عدد النيوترونات مع الزمن ويتوقف التفاعل المتسلسل .

3- عندما تكون $K = 1$ يكون معدل النيوترونات الناتجة يعادل تماما معدل النيوترونات المستهلكة وفي هذا الحالة تسمى المنظومة بالحرجة . لذلك فان التفاعل المتسلسل يستمر ذاتياً .

❖ تصنيف المفاعلات النووية :-

لقد تم بناء انواع مختلفة من المفاعلات النووية لدراسة الانشطار النووي المتسلسل والتحكم فيه والمحافظة على استمراريته والظواهر التي تصاحبه ولاستغلال الطاقة التي تتحرر منه . وتصنف المفاعلات النووية وفقا للمواصفات البارزة التالية :-

1- طاقة النيوترونات : حيث تصنف المفاعلات الى مفاعلات حرارية ومتوسطة وسريعة ، فالمفاعلات الحرارية هي تلك المفاعلات التي تتم عملية الانشطار فيها بواسطة نيوترونات حرارية ، اما المفاعلات السريعة فتساهم فيها النيوترونات السريعة .

2- المهدئات المستخدمة : حيث تصنف المفاعلات تبعاً لنوع المهدئات التي تستعملها لتخفيض طاقة النيوترون السريع وتحويله الى نيوترون حراري فهناك مفاعلات الكرافيت او مفاعلات الماء الثقيل او مفاعلات الماء الاعتيادي .

3- ترتيب الوقود والمهدئ : تصنف المفاعلات كونها متجانسة او غير متجانسة ويعتمد ذلك على ترتيب الوقود والمهدئ ، ففي حالة المفاعل المتجانس يخلط المهدئ مع الوقود بصورة منتظمة ويكون اما على شكل خليط صلب او محلول سائل ، اما في حالة المفاعل غير المتجانس فوقوده يكون مركز في صفائح او قضبان او اسطوانات مجوفة توزع بصورة منتظمة وفق نموذج هندسي معين في المهدئ .

4- الغرض من المفاعلات : وتصنف الى مفاعلات القدرة ومفاعلات البحوث ومفاعلات انتاج الوقود .

5- التبريد : وتصنف المفاعلات حسب الناقل الحراري الذي ينقل الحرارة المتولدة بسبب الانشطار النووي الى خارج المفاعل ثم التخلص منها او الاستفادة منها لاغراض مختلفة فمثلا هناك مفاعلات تستخدم الماء الخفيف او الثقيل تحت ضغط ملائم ، وفي البعض الاخر تستخدم بعض الغازات مثل CO_2 , He بتدويرها تحت ضغط عالي لتقوم بعملية التبريد .

❖ فكرة عامة عن بعض انواع المفاعلات :

1- مفاعلات البحوث : ان الغاية الاساسية من عمل مثل هذه المفاعلات هو للدراسة والبحث العلمي ، حيث تنقل على سبيل المثال النيوترونات الحرارية المتولدة في قلب المفاعل من خلال قنوات خاصة الى خارج قلب المفاعل لدراسة الخواص الفيزيائية للمواد بطريقة الاسر النووي حسب تفاعل (n, γ) ، وكذلك يستخدم النيوترونات الحرارية بالقرب من قلب المفاعل في حقل الفيزياء الاشعاعية لتوليد النظائر المشعة المستخدمة في الطب والصناعة والجوانب الاخرى بطريقة التنشيط النيوتروني (Neutron Activation) .
وتمتاز هذه المفاعلات بانها صغيرة الحجم وسهلة الاستخدام.

2- مفاعلات انتاج البلوتونيوم (المفاعلات السريعة) : تستخدم بشكل خاص لانتاج البلوتونيوم وتعتمد على انشطارات النيوترونات السريعة ، حيث يتولد عنصر البلوتونيوم (Pu^{239}) نتيجة امتصاص U^{238} للنيوترونات . تستخدم هذه المفاعلات اليورانيوم الطبيعي الحاوي على U^{235} ، U^{238} كوقود لانتاج عنصر البلوتونيوم . تستخدم هذه المفاعلات لاغراض عسكرية و انتاج الاسلحة النووية .

3- مفاعلات انتاج الطاقة : يستخدم هذا النوع من المفاعلات للاغراض السلمية ولانتاج الطاقة ، حيث تعتمد بصورة مباشرة على اسلوب انشطار المادة النووية فيها. ان الغاية الاساسية من عمل هذه المفاعلات هي تحويل الطاقة الناتجة عن الانشطار النووي الذي يحدث في قلب المفاعل الى قدرة مفيدة.