| | |
|---|---|
| الكلية | التربية للعلوم الصرفة |
| القسم | الفيزياء |
| المادة باللغة الانجليزية | Health physics |
| المادة باللغة العربية | فيزياء صحيه |
| المرحلة الدراسية | المرحلة الثانية |
| اسم التدريسي | نور زهير |
| عنوان المحاضرة باللغة الانجليزية | The working principle of a nuclear reactor |
| عنوان المحاضرة باللغة العربية | مبدأ عمل المفاعل النووي |
| رقم المحاضرة | المحاضرة الخامسة |
| المصادر والمراجع | كتاب الفيزياء الصحية المنهجي<br>تأليف / الدكتور خالد الاحمد |
| | |
| | |

# محتوى المحاضرة

UNIVERSITY OF ANBAR

## 7.3مبدأ عمل المفاعل النووي The working principle of a nuclear reactor

المفاعل النووي هو عبارة عن تفاعل متسلسل مسيطر عليه من قبل الانسان كما ذكرنا سابقاً بحيث أن معدل تحرر الطاقة يكون بطيئاً يمكن الاستفادة منه.

يعتمد عمل المفاعلات النووية بصورة عامة على التوازن بين أربعة عوامل متنافسة فيما بينها هي:

1- أن يكون عدد النيترونات الناتجة من الانشطارات اكبر من عدد النيترونات المستهلكة

2- الإقتناص غير الانشطاري للنيترونات من قبل الوقود (المادة الانشطارية )..

3- الإقتناص غير الانشطاري للنيترونات من قبل بقية المواد في المفاعل.

4- هروب النيترونات خارج كتلة الوقود قبل أن يتم امتصاصها من قبل نوى المادة الانشطارية.

إن تحقيق حالة التوازن بين النقاط الأربعة السابقة يفرض شروطاً على حجم أي نظام لكي يحدث فيه تفاعل متسلسل، فإذا تم توزيع المادة الانشطارية (الوقود) وليكن اليورانيوم مثلاً بشكل منتظم خلال منظومة التفاعل المتسلسل فإن معدل توليد أو تكاثر النيترونات سوف يعتمد على حجم الوقود ، أما معدل هروب النيترونات فيعتمد على مساحة السطح للمادة الانشطارية ، فإذا كانت الكتلة صغيرة وكانت نسبة مساحة السطح إلى الحجم كبيرة فإن معظم النيترونات سوف تهرب خارج المادة الانشطارية مما يؤدي إلى توقف التفاعل المتسلسل ، كذلك فإن فقدان النيترونات بسبب الإقتناص غير الانشطاري يعتمد على الحجم ، فعلى الرغم من أن زيادة حجم الوقود سوف تقلل معدل الهروب عبر السطح لكنها سوف تزيد معدل الإقتناص غير الانشطاري الذي سوف يقلل من عدد النيترونات المتحررة وبالتالي يوقف التفاعل المتسلسل . هناك حجم معين يسمى الحجم الخرج Critical Size يكون عنده معدل انتاج النيترونات مساويا لمعدل فقدانها عن طريق الإقتناص غير الانشطاري ويكون التفاعل المتسلسل عند هذا الحجم ممكناً، فإذا كان حجم المادة الانشطارية أقل من الحجم الحرج فإن التفاعل المتسلسل لن يحدث لأنه لن يستطيع أن يديم نفسه، ويجري الاعتماد على هذه النقطة كثيراً في الوقاية من مخاطر الحراجة النووية وذلك بابقاء حجم المادة الانشطارية دائماً أقل من الحجم الحرج حتى لا يحدث فيها تفاعل متسلسل قد يؤدي إلى حدوث انفجار.

إن الاحتمالية النسبية لكل من الانشطار والإقتناص غير الانشطاري وإستطارة النترونات يعبر عنها بوساطة المقاطع العرضية ويبين الجدول (7.3) قيم هذه المقاطع لبعض المواد الانشطارية.

الجدول (7.3) المقاطع العرضية لبعض المواد الانشطارية بالنسبة للنيترونات الحرارية بوحدات $(barn = 10^{-24}\ \text{cm}^2)$

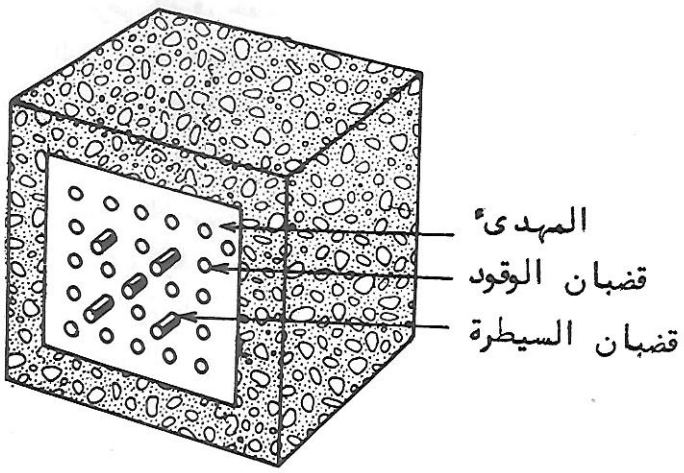
| المادة الانشطارية | المقطع العرضي للاستطارة $\sigma_s$ | المقطع العرضي للامتصاص $\sigma_u$ | المقطع العرضي للإنشطار $\sigma_f$ |
|---|---|---|---|
| اليورانيوم235 | 10 | 107 | 580 |
| البلوتونيوم 239 | 9.6 | 315 | 750 |
| اليورانيوم 233 | – | 52 | 533 |
| اليورانيوم 238 | 8.3 | 3.5 | 0 |

## 7.4مفاعل اليورانيوم الطبيعي وانوع المفاعلات

### 7.4.1-مفاعل اليورانيوم الطبيعي

المفاعل النووي هو عبارة عن جهاز يجري فيه التفاعل المتسلسل بصورة ذاتية . أي أنه عبارة عن فرن يجري فيه حرق الوقود النووي ويتم الحصول على عدة نواتج مثل الحرارة والنترونات والنظائر المشعة ، وتختلف المفاعلات في الشكل والحجم وأهم محتويات المفاعل هي الوقود الانشطاري والمادة المهدئة ويُبين الشكل (7.2) رسما تخطيطيا لمفاعل اليورانيوم الطبيعي الذي يستخدم فيه فحم الكرافيت كمهدىء وتظهر فيه العناصر المختلفة في المفاعل.

UNIVERSITY OF ANBAR




الشكل (7.2) رسم تخطيطي لمفاعل اليورانيوم الطبيعي الذي يستخدم الفحم كمهدئ.

إن الشرط الأساس لكي يعمل مفاعل الانشطار باستخدام وقود من اليورانيوم أن يكون عدد النترونات $\nu$ المتحررة من امتصاص كل نترون حراري اكبر من الواحد وتبلغ قيمة $\nu$ لليورانيوم $U^{235}$ 2.08 وتبلغ بالنسبة لليورانيوم الطبيعي 1.33 وتعطى قيمة $\nu$ بالعلاقة $\nu = \frac{\eta\sigma_f}{\sigma_f+\sigma_y}$ حيث $\sigma_y$ و $\sigma_f$ هي مساحات مقاطع الانشطار وانبعاث كاما . و $\eta$ هو عدد النترونات السريعة المتحررة من كل عملية انشطار. يجري تهدئة النترونات السريعة خارج قلب المفاعل وذلك حتى يكون بالامكان امتصاصها من قبل النظير $U^{235}$ وكذلك لتجنب امتصاصها من قبل اليورانيوم $U^{238}$ الذي لا ينشطر ولهذا يتم دفن قضبان الوقود في مفاعل اليورانيوم ضمن مادة المهدىء التي تقوم بابطاء النيترونات إلى الطاقة الحرارية لكي تصبح مؤهلة لأن تقتنصها نوى اليورانيوم 235 وهناك عدة مواد يمكن استخدامها كمهدئات في المفاعلات مثل فحم الكرافيت والماء الثقيل.

تبدأ دورة النيترونات في المفاعل في لحظة امتصاص النيترونات البطيئة من قبل عنصر الوقود يلي ذلك توليد النيترونات السريعة التي يتم إبطاؤها في مادة المهدىء ثم يعاد امتصاصها ثانية. لنفرض أنه في لحظة معينة تم اقتناص عدد مقداره N من النيترونات الحرارية من قبل الوقود ونريد حساب العدد KNالذي يمثل العدد المتولد والذي ينجو من مختلف العمليات غير الانشطارية بحيث يتم امتصاصه في الوقود ثانية كنترونات حرارية. إن استمرارية عمل المفاعل تتطلب أن يكون K أكبر من الواحد.

عندما يتم امتصاص N من النيترونات الحرارية فإن عدداً مقداره $\nu N$ من النيترونات السريعة سوف يتولد ، بعض هذه النيترونات سوف تقوم بشطر نوى اليورانيوم $U^{238}$ مما يزيد في عدد النيترونات السريعة ويعبر عن هذه الزيادة بالمعامل $\epsilon$ الذي يسمى بمعامل الانشطار السريع Fast fission factorكما يمكن لبعض النيترونات السريعة أن تتسرب إلى الخارج عندما يكون حجم المفاعل صغيراً مما يؤدي إلى تناقص عددها ويتم أخذ هذا التناقص في الحسبان باضافة معامل يعرف باسم معامل النضوح للنيترونات السريعة Leakage factor L ، وهكذا فإن عدد النيترونات الباقية في المفاعل حتى الآن يمكن التعبير عنه بالمقدار $\nu\epsilon(1-L_f)N$

هناك بعض النيترونات التي يتم امتصاصها من قبل اليورانيوم $U^{238}$دون أن تسبب الانشطار وتسمى هذه الحالة بالهروب الرنيني للنيترونات ويتم إضافة معامل خاص P للتعبير عن النقص في عدد النيترونات نتيجة لهذه الفعالية ، كما أن هناك بعض النيترونات الحرارية التي تستطيع الهروب خارج قلب المفاعل ولذلك يضاف معامل آخر يعرف باسم معامل النضوح للنيترونات الحرارية $L_s$، كما أن بعض النيترونات سوف يتم امتصاصه من قبل بعض المواد والتراكيب الموجودة في قلب المفاعل ويعبر عن عدد النيترونات التي تنجو من الضياع بهذه الطريقة باستخدام ما يعرف بمعامل الاستخدام الحراري(utilization factor (f) Thevmal) ويعطى بالعلاقة:

$$f = \frac{N_{(235)}\sigma_{a\,(235)} + N238\sigma_{a\,(238)}}{\sum_i N_i\sigma_a(i)} \qquad \ldots(7\text{-}1)$$

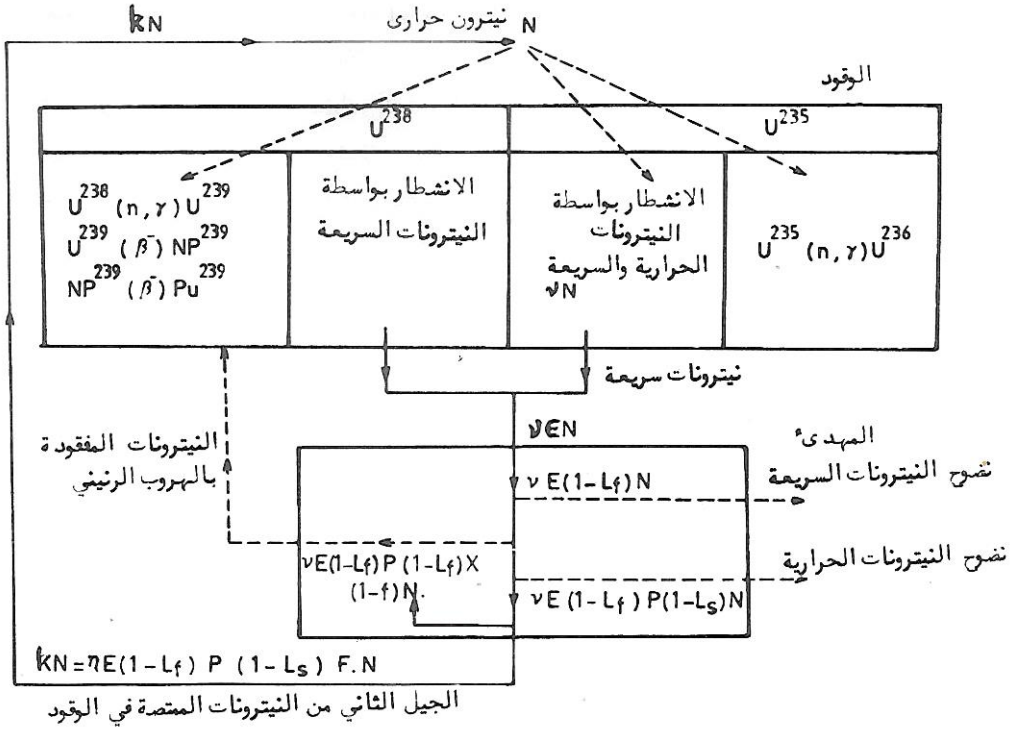
حيث يمثل $\sigma_a$ المقاطع العرضية لامتصاص النيترونات بوساطة اليورانيوم 235 و 238و N هو عدد المولات لهذين النظيرين $\sum_i N_i\sigma_a(i)$ تمثل حاصل ضرب عدد المولات بالمقطع العرضي لامتصاص النيترونات في جميع المواد الموجودة ضمن الوقود وهكذا فإن عدد نيترونات الجيل الثاني والتي تسبب انشطارات جديدة في الوقود هو

$$KN = \nu <^{\epsilon}.Pf\,(1-L_f)(1-L_s)N \qquad \ldots(7\text{-}2)$$

عندما يكون قلب المفاعل كبيراً فإنه بالامكان إهمال نضوح النيترونات السريعة والبطيئة لأنه سيكون من غير الممكن أن تغادر النيترونات كتلة الوقود قبل أن تمتص وفي هذه الحالة فإن معامل التكاثر هو:

$$K\infty = \nu^{\epsilon}\, Pf \qquad \ldots(\ 7\text{-}3\ )$$

ويبين الشكل (7.3) رسماً تخطيطياً يبين دورة النيترونات في مفاعل اليورانيوم الطبيعي




الشكل (7.3) دورة النيترونات في مفاعل اليورانيوم الطبيعي.

### 7.4.2 - أنواع المفاعلات

لقد كان مفاعل اليورانيوم الطبيعي الذي قدمناه عبارة عن فكرة بدائية لمبدأ عمل المفاعل النووي وطريقة السيطرة عليه. إلا أن تطور الصناعة النووية قد أدى الى انتاج مفاعلات ذات أشكال وحجوم متنوعة وتعمل وفقاً لأساليب مختلفة وحسب الاغراض المنشودة من هذه المفاعلات، وسوف نستعرض بشكل موجز بعض هذه المفاعلات وطريقة عملها دون التطرق إلى شرح تفصيلي قد يحتاج إلى مساحة واسعة لا يمكن توفيرها ضمن هذا الكتاب.

UNIVERSITY OF ANBAR

**1- مفاعلات التجارب والبحوث**

هذه المفاعلات ذات طاقة قليلة تتراوح بين 1 كيلو واط و 50 ميكاواط وهي تتكون من وعاء كونكريتي يحوي في داخله قلب المفاعل والماء النقي ويكون القلب عادة مكشوفاً الأعلى ويمكن مشاهدته من سطح الماء ويتكون وقود هذه المفاعلات من قضبان أو صفائح اليورانيوم المخصبة بنسبة 90% كوقود وتبلغ كمية اليورانيوم 235 حوالي 3 كيلوغرامات تقوم هذه المفاعلات بانتاج سيل من النيترونات

التي تستخدم لمختلف الاغراض البحثية ويكون معدل التدفق النيتروني حوالي 103 نيترون حراري / سم " ثا ولكن هناك مفاعلات تقوم بتجهيز تدفق يصل إلى 1015 نيترون – حراري / سم " تاكما هو الحال في مفاعل غرينوبل الفرنسي . تبرد هذه المفاعلات بالماء الثقيل أو الماء العادي (الخفيف) ويقوم المبرد بدور المهدىء في نفس الوقت وهناك مئات من هذه المفاعلات قيد الخدمة في كثير من دول العالم.

**2- مفاعلات إنتاج الطاقة**

لقد أصبحت مفاعلات انتاج الطاقة الكهربائية من الانشطار النووي واسعة الانتشار في كثير من دول العالم، وعلى الرغم من كل الذي تلقاه هذه الصناعة من معارضة جماهيرية فإن الطلب المتزايد على الطاقة قد ساهم في تطور هذه الصناعة وانتشارها خاصة في الدول الأكثر تطوراً.

تبلغ قدرة هذه المفاعلات حوالي 1000 ميكاواط وهناك وحدات توليد ذات قدرة أقل ولكن تفضل الوحدات ذات القدرة العالية لأن كلفة الانتاج ستكون أقل وهناك العديد من هذه المفاعلات أهمها هي الأنواع الثلاثة الآتية:

أ) مفاعل الماء المضغوط(PWR)

في هذا النوع من المفاعلات يجري الاستفادة من الحرارة الناتجة من انشطار ذرات الوقود في تسخين الماء الذي يدخل إلى داخل القلب من الجهة السفلى ويسخن عند مروره بين قضبان الوقود ويغادر من أعلى المفاعل وهو ذو حرارة عالية جداً.

هناك نماذج عديدة المفاعلات الماء المضغوط من أبرزها مفاعل وستنكهاوس Wistinghous الذي يحوي على حوالي 40000 عنصر وقود موزعة على 208 حزمات ويبلغ وزن الوقود 88 طناً من اليورانيوم المخصب بنسبة 2.5% تقريباً باليورانيوم 235 ويصنع وعاء المفاعل من الفولاذ على شكل اسطوانة ارتفاعها 14 متراً وقطرها 4.5 متر وسمك الجدار 22 سم.

ب) مفاعلات الماء المغلي(BWR)

يكون قلب المفاعل BWR وعناصر وقوده مشابهة لتلك التي في مفاعل PWR ولعل الفرق الأساسي هو أن الغليان يحصل داخل وعاء المفاعل ولاحاجة لمولد بخاري خارجي كما هو الحال في مفاعل PWRويضاف جهاز تجفيف البخار حيث يوضع فوق القلب لتجفيف البخار قبل وصوله إلى عنفات

التوليد ( التوربينات ) تبلغ ابعاد وعاء المفاعل 22 متراً إرتفاعاً وقطره 6 أمتار وسمكه نحو 16 سم وهو يستخدم كمية من الوقود$UO_2$ اكبر من مفاعلات PWR ولكن بنسبة تخصيب أقل وتبلغ كمية الوقود التي تستبدل سنوياً حوالي 30 طناً. يمكن التخلص من البخار الزائد بفتح صمامات الأمان فيدخل البخار الى بئر يسمى بالبئر الرطب ويحوي 2000 متر مكعب من الماء حيث يتكاثف البخار.

ج) مفاعلات الماء الثقيل(HWR)

يمتاز هذا النوع من المفاعلات بأنه يعمل باليورانيوم الطبيعي وبدون تخصيب وهو ينتج كمية من البلوتونيوم Pu239 تبلغ ضعف ما تنتجه مفاعلات .(PWR يتكون وعاء المفاعل من حوض اسطواني أفقي مملوء بـ $D_20$,يحوي في داخله مئات من أنابيب الالمنيوم التي تحوي في داخلها قضبان $UO_2$الطبيعي مغطاة بالزركينيوم ويبرد هذا المفاعل بوساطة الماء المضغوط الذي يتحول إلى بخار يقوم بتدوير عنفات توليد الطاقة الكهربائية ويُعد مفاعل– كاندو Candu حالياً النموذج الاكثر شيوعاً لمفاعلات الماء المغلي ولكن تكاليف تشغيل هذا المفاعل هي اكبر من مفاعلات الماء الخفيف بسبب الحاجة إلى الماء الثقيل. $D_2O$ .

د) المفاعلات المهدأة بالكرافيت

يُعد مفاعل اليورانيوم الطبيعي نموذجاً لهذا النوع من المفاعلات وهي تعد أقدم المفاعلات التي أنشئت في العالم ويتم تبريدها غالباً بالغاز (CO2) أو بالماء ويُعد المفاعل المعروف باسم ما كنوكس Magnox أحد النماذج التي ظهرت لهذا النوع ويتكون قلب هذا المفاعل من قوالب كرافيتية تمر خلالها قضبان الوقود المكون من اليورانيوم الطبيعي المحاط بسبيكة من المغنيزيوم ، وتتوضع القوالب الكرافيتية بشكل أفقي داخل وعاء الضغط الذي يتكون من اسطوانة أفقية يبلغ ارتفاعها عشرة أمتار وقطرها خمسة عشر متراً مصنوعة من الفولاذ بسمك عشرة سنتمترات يحيط بها من الخارج جدار كونكريتي سمكه ثلاثة أمتار.

وقد تم تطوير هذا النوع من المفاعلات باستخدام وقود UO2 مخصب بنسبة ضئيلة واستخدام غاز CO2 للتبريد للحصول على كفاءة اعلى دون زيادة حجم المفاعل كما هو الحال في مفاعلات الحرارة العالية المهدأة بالكرافيت (HTGR).

3– المفاعلات المولدة

الوظيفة الاساسية لهذا النوع من المفاعلات هو إنتاج مواد انشطارية اكثر مما تستهلك ولكي يكون مثل هذا التوليد ممكناً فإن $\eta$ يجب أن تكون اكبر من 2. يعد اليورانيوم 233 المادة المفضلة للتوليد في

المفاعلات الحرارية ، كما يُعد البلوتونيوم 239 هو الأفضل للتوليد في المفاعلات السريعة ، ونظراً لأن $\eta$ للبلوتونيوم هي اكبر منها لليورانيوم 233 فإنه بالامكان الحصول على كمية بلوتونيوم أكبر من اليورانيوم .

يُعد المفاعل المولد السريع من أشهر مفاعلات التوليد وهو يتكون من قلب مركزي من البلوتونيوم تحدث فيه عمليات الانشطار ويحيط به من الخارج غطاء من اليورانيوم 238 الذي يقوم باقتناص النيترونات لتكوين البلوتونيوم 239 ويحاط هذا الغطاء بعاكس للنيترونات مصنوع من الحديد وقد انشئت العديد من مفاعلات التوليد في امريكا وبريطانيا وفرنسا وروسيا واليابان والمانيا ودول أخرى ....

UNIVERSITY OF ANBAR