جامعة القادسية
كلية التربية/الدراسة المسائية
قسم الفيزياء

النيوترونات وكيفية استغلالها في تشغيل المفاعلات النووية الانشطارية

بحث مقدمة إلى

قسم الفيزياء- كلية التربية/جامعة القادسية وهي جزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس في الفيزياء

من قبل

كرار كاظم وادي

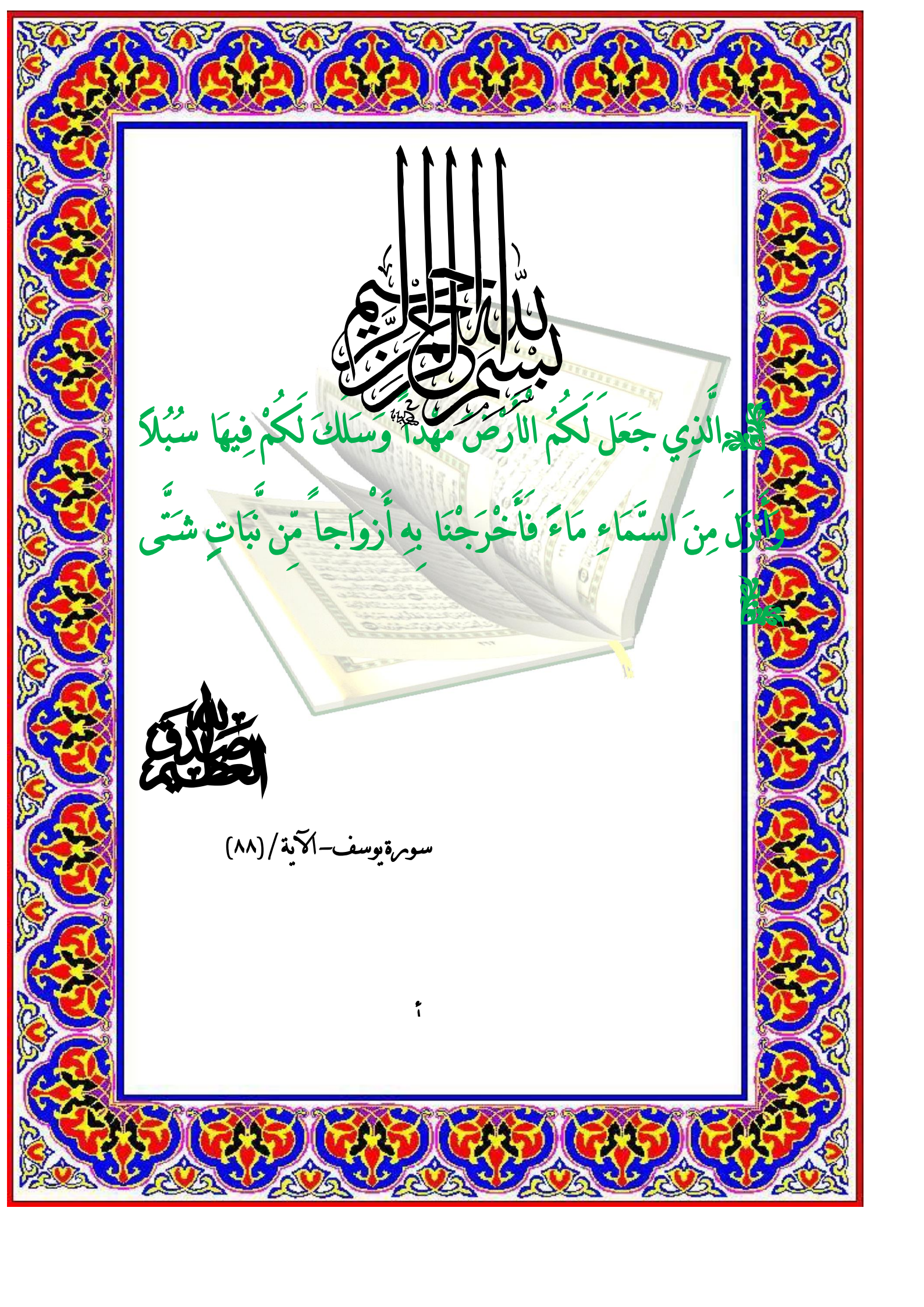
فرح عبد الكريم خضير

زينب مهدي عبد صالح

بأشراف

م.م. اسامة نوفل عودة

٢٠١٨ ١٤٣٩



بسم الله الرحمن الرحيم

الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ الْأَرْضَ مَهْدًا وَسَلَكَ لَكُمْ فِيهَا سُبُلًا

وَأَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ أَزْوَاجًا مِّن نَّبَاتٍ شَتَّى

صدق الله العظيم

سورة يوسف- الآية/ (٨٨)

الاهداء

الى . . . . . .

واهب الحياة وديمومتها . . . . . ربي

من علمني القران والثبات على الحق . . . . رسولي

القلب الذي احتضننا داخل واسكننا داخلة ليحمينا من لهب الحياة . . . . والدي

الملاك الذي سهر وعاني لمعاناتي . . . . . والدتي

من شملني برعايتة العلمية والانسانية . . . . . استاذي

من ساندني وشد ازري . . . . اصدقائي

من كاد ان يكون رسولا . . . . كل من علمني حرفا

اصدقائي وكل من دعالي محبة . . . . . حمدا لله على ما اتقيت

الفصل

الاول

النيوترون

1-1 النيوترون:

يعتبر النيوترون من اهم الجسيمات التي اكتشفها الانسان في القرن الماضي حيث انها اساس التفاعلات النووية المنتجة للطاقة او النظائر المشعة الاصطناعية ولهذا الجسيم خصائص فريدة تمكنه من الدخول الى قلب النواة او التفاعل مع مكوناتها مما يؤدي الى انشطارها او انتاج طاقة هائلة. [1]٠

بعد اكتشاف النشاط الاشعاعي في بداية القرن الماضي تكاثفت الجهود العملية في الكثير من الدول الغربية لدراسة الاشعاعات النووية واجراء التجارب لمعرفة خصائصها. ادت تجارب قذف العناصر الخفيفة خاصة الليثيوم **(Li)** والبيريليوم **(Be)** بجسيمات الفا في بداية الثلاثينات الى اكتشاف جسم جديد له خصائص غير معروفة سابقا اثبتت التجارب التي قام بها سابقا العالم الامريكي شادويك ان الجسيم الجديد له كتلة قريبة جدا من كتلة البروتون وان قدرته الفائقة على اختراق المواد الناتجة من عدم وجود شحنة لهذا الجسيم وذلك سمي بالنيوترون [1]٠

1-2اكتشاف النيوترون :

تاريخ المحاولات طويل وكانت قد بدأت بتوقعات ومحاولة اثبات هذه التوقعات على أسس مختلفة مثل دراسة الخواص المميزة، دراسة اختلاف التصادم، دراسة الطاقة الفائضة الناتجة عنها في شكل حرارة وكثير منها باء بالفشل. [4]

كان رذرفورد قد تنبأ بوجودها عام 1920 وبعدها بعشر سنوات لاحظ الفيزيائيان الألمانيان والتر وهيربرت شيئاً غريباً عند إطلاقهما أشعة ألفا على مادة البريليوم (عددها الذري 4). انبعثت من البريليوم اشعاعات متعادلة قادرة على اختراق 200 مم من الرصاص في حين أن البروتونات كانت لا تستطيع اختراق 1 مم من الرصاص. افترض الاثنان أن السبب هو إشعاعات من غاما عالية الطاقة. [4]

بعدها جاء دور علماء آخرين لفحص الأشعة عن كثب، حيث وضعوا حاجزا من شمع البارافين مقابل أشعة البريليوم فلاحظوا قدوم بروتونات عالية السرعة من البارافين. كانوا على علم حينها أن اشعاع غاما يفترض بها انتزاع الكترونات من المعادن لذا توقعوا أن نفس الشيء حاصل مع البروتونات في البارافين. [4]

بعدها رفض العالم شادويك هذه الفكرة معللا السبب أن انتزاع بروتونات بسرعات عالية كهذه ينبغي أن تكون له طاقة مقدارها 50 مليون الكترون فولت وبالمقارنة فإن اشعاعات الفا كانت قادرة على إنتاج 14 مليون الكترون فولت تقريبا فقط. [4]

وضع شادويك تجربة أخرى ليوضح ما يحدث أكثر حيث وضع قطعة من البريليوم في غرفة مفرغة مع بعض البولونيوم. أنبعثت اشعاعات الفا من البولونيوم والذي اعترض البريليوم. أثناء الاعتراض انطلقت أشعة متعادلة محيرة. وفي مسار الأشعة وضع شادويك حاجزا آخر وعندم اصطدمت به الأشعة، ضربت بذرات منه وأصبحت مشحونة فطارت نحو مجس جسيمات من النوع الغازي (تأين). قام شادويك بقياس التيار الناجم عن عملية التأين هذه وعليه استطاع حساب عدد الذرات وتوقع سرعتها. وبإعادة تجاربه على أهداف مختلفة استطاع الاقتناع

والإقناع بأن إشعاعات غاما لا تستطيع تفسير سرعة الذرات وبالتالي فإن الاحتمال الأرجح والمعقول هو جسيمات متعادلة. [4]

بعدها قام شادويك بقياس كتلة هذه الجسيمات ولكن بطريقة غير مباشرة حيث قاما بقياس جميع نواتج الاصطدام على البورون بدلا من البريليوم والذي أنتج أيضا اشعاعات متعادلة فوضع هدفا حاجزا من الهيدروجين أمام الأشعة وعندما حدث التصادم وتطايرت بروتونات قام شادويك بقياس سرعة هذه البروتونات. بتطبيق قوانين بقاء الطاقة والزخم (كمية التحرك)، استطاع شادويك حساب كتلة جسيم النيوترون ليجد أنها 1.067 من البروتون. [4]

3-1 خصائص النيترون

اثبتت التجارب اللاحقة ان النيوترونات من فئة الفرميونات مثل البروتون حيث لكل منا ثلاث انواع مختلفة النوع وهما المكونان الاساسيان لتكوين نواة المادة، لذلك اثبت تجارب تصادم الجسيمات مؤخرا ان النيوترون ليس جسيم اولي مثل البروتون وان كلاهما يتكون من جسيمات اولية تسمى الكواركات يعطي الجدول (1-1) بعض خصائص النيوترون والبروتون [1].

الجدول (2-1) بعض خصائص البروتون والنيوترون

الجسيم	الكتلة (a.m.n)	الشحنة	spm	المكونات
النيوترون	1.0078	0	$^1/_2$	2 كوارك (تحت) + كوارك (فوق)
البروتون	1.0073	1	$^1/_2$	2 كوارك (فوق) + كوارك (تحت)

ولا يوجد النيترون حرا في الطبيعة الا اثر التفاعلات النووية وهذه الحالة لا تدوم كثيرا لأنه جسيم غير مستقر في هذه الحالة وانما يكون مستقرا داخل النواة.

اثبتت التجارب ان النيوترون الحر له نشط اشعاعي بيتا السالبة حيث يتحول تلقائيا الى بروتون والكترون ونيوترينو على النحو التالي[1].

$$ {}^1_0\mathrm{n} \rightarrow {}^1_1\mathrm{p} + \mathrm{e}^- + \bar{\nu}_e $$

4-1 تصنيف النيوترونات:

غالبا ما تكون طاقة الجسيمات الفا وبيتا الناتجة عن النشاط الاشعاعي كبير نسبيا حيث ان اقلها حوالي عشرون كيلو فولت (20 kev) مما يجعل سرعتها كبيرة جدا. [1]

اما الجسيم النيوترون فبإمكانه ات يتخذ طاقات متعددة صغيرة وكبيرة جدا مما يترجم بسرعات متفاوتة تساعد على تصنيفه الى أربع فئات لكل منها خصائص مختلفة كما في الشكل (2-1) [1].

جدول (2-2) خصائص فئات النيترونات

فئة النيوترونات	الطاقة	السرعة m/sec	درجة الحرارة	الموجة المصاحبة
الحرارية	0.023	2.2×10^3	290	1.81×10^{-6}
البطيئة – المتوسطة	10^4- 1.0	1.4×10^6- 1.4×10^4	1.2×10^6- 1.2×10^4	2.0×10^{-9}- 2.0×10^{-7}
السريعة	$10^8 - 10^6$	1.3×10^8- 1.4×10^7	1.2×10^{10}- 1.2×10^3	2.0×10^{-11}- 2.0×10^{-10}
النسبية	10^{10}	2.0×10^8	1.2×10^{12}	1.1×10^{-12}

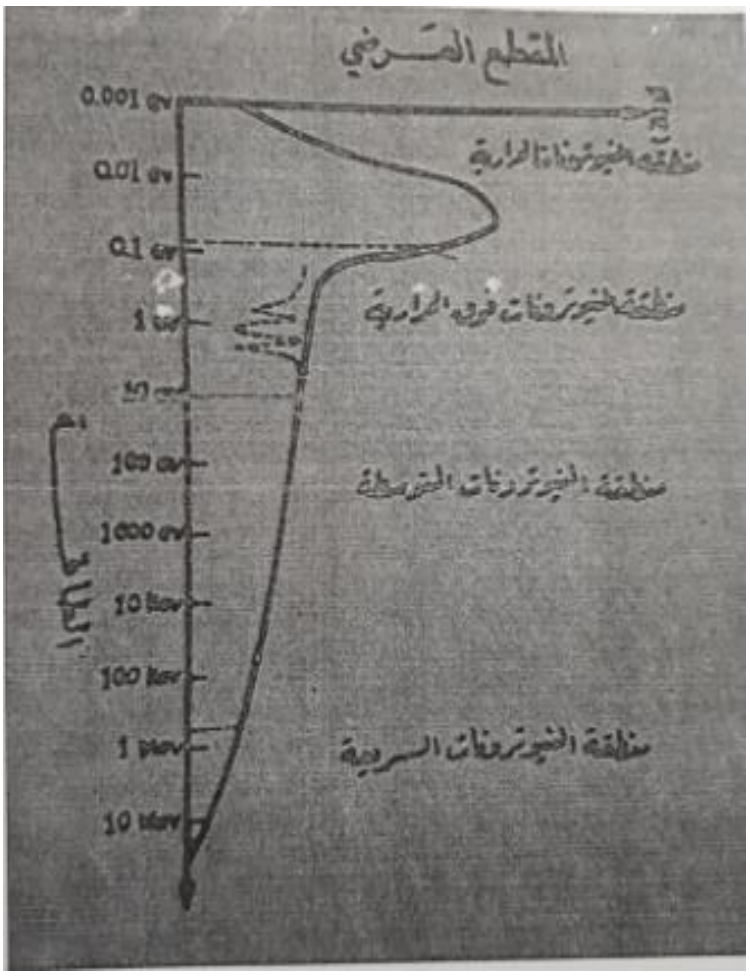
5-1 تصنيف النيوترونات وفقا لطاقتها:

ان المقاطع العرضية للنيوترونات لا تعتمد فقط على طبيعة نواة الهدف وانما على طاقة النيوترون المتفاعلة وتصنف عاجة النيوترونات في تفاعلاته النووية وفقا لتصرف المقاطع العرضية المختلفة حيث هناك أربع مناطق متميزة لطاقات النيوترونات وهي [1].

1) منطقة الطاقة العالية: وتشمل النيوترونات التي تقع طاقاتها بين (10MeV) و (0.1MeV) وتسمى النيوترونات السريعة ، وتتميز تفاعلات هذه النيترونات بصغر مقطعها العرضي للامتصاص عن مقطعها العرضي للاستطارة اي ان ($Q_a << Q_s$) فالتفاعل الغالب في هذه المنطقة اذن هو الاستطارة (n,n). [1]

٢) منطقة الطاقة المتوسطة: وهي النيوترونات التي تقع طاقاتها بين (0.1MeV) و (1000 MeV) ويطلق عليها النيوترونات المتوسطة، ويبقى التفاعل (n,n) في هذه المنطقة هو المفضل لتفاعل النيوترونات المتوسطة مع النوى الثقيلة حيث Qt = Qs ويكون بحدود بار واحد . بينما المقطع العرضي (Qs) للتفاعل او عملية الاسر الاشعاعي يكون بحدود الملي بار ويظهر رنين نووي عند تفاعل النيوترونات المتوسطة وع النوى الخفيفة (A<25) بينما لا يظهر عند تفاعلها مع النواة الثقيلة. [1]

٣) النيوترونات فوق الحرارية: تقع طاقات النيوترونات في هذه المنطقة بين (1MeV) و (1000MeV) وتسمى ايضا بمنطقة الرنين .وتتميز تفاعلات هذه النيوترونات مع معظم العناصر لظهور نهايات عظمى مستدقة ومتباعدة عن بعضها البعض المركبة على خلفية منحني المقطع العرضي الكلي والذي يتغير مع (E_2^1) او (1/V) والتي تسمى بالرنين ويتغير الرنين والتباعد بين نهاياته بين عنصر واخر . ويبين الشكل (1-3) المظهر العام لتغير المقطع العرضي الكلي (Qt) مع الطاقة لنواة نموذجية. [1]



شكل (1-3) [1]

٤-منطقة النيوترونات الحرارية

لها طاقة حركية تقدر بحوالي ٠,٠٢٥ eV (أي ما يقارب ٤,٠×١٠−٢١ J؛ أو ٢,٤ MJ/kg، ومن ثم تكون سرعتها ٢,٢ km/s) و التي تعتبر الطاقة الأكثر احتمالاً عند درجة حرارة ٢٩٠ كلفن (١٧ درجة مئوية أو ٦٢ فهرنهايت)، منوال توزيع ماكسويل-بولتزمان Maxwell–Boltzmann distribution عند هذه الدرجة الحرارية. لدى النيوترونات الحرارية مقطع عرضي لامتصاص النيوترون مختلف وأكثر فعالية من ما هو موجود عند النيوترونات، وبالتالي فأنها تُمتص أكثر سهولة بواسطة الأنوية الذرية، مخلقةً بذلك نظيرأثقل. [1]

6-1 انتاج النيوترونات الانشطارية :

يتم انتاج مصادر النيوترونات عن طريق الانشطار التلقائي لبعض النظائر الثقيلة الطبيعية مثل الثوريم Th واليورانيوم U والنظائر الاصطناعية الكيريوم Cm والكليفرنيوم Cf والفرميوم Fm والنظائر لها خاصية انشطار النواة تلقائيا ، ومن خلال هذه العملية يتم انتاج النيوترونات. اكثر النظائر استعمالا هو الكليفرنيوم Cf^{252} الذي له نصف عمر طويل نسبيا حوالي (85.5) سنة. [1]

المصدر الثاني للنيوترونات الانشطارية هو المفاعلات النووية التي تنتج كميات كبيرة جدا من مختلف فئات النيوترونات كذلك تتميز بشدة فيض نيتروني عال يتراوح بين ($10^{12} - 10^{14}$) في الثانية وفي السنتمتر المربع ($n/seccm^2$) [1].

7-1 تفاعل النيوترون مع المادة

بما ان النيوترونات متعادلة الشحنة فهي لذلك لا تدخل في تعامل مع الكترونات الذرة على الاطلاق ولذلك نستطيع الوصول الى النواة قاطعة الحاجز الكولومي من دون اي عائق ومن الممكن تقسيم تفاعلات النيوترونات الى قسمين تفاعل النيوترونات السريعة وتفاعل النيوترونات البطيئة [3].

8-1 تفاعلات النيترونات السريعة:

في التفاعلات السريعة تصدم النيوترونات بنوى مادة الهدف مكونة بذلك النواة المركبة والتي في عادة في اعلى حالات الاستثارة. فمن طاقة الربط للنيوترونات والتي هي تقريبا 8 MeV زائد الطاقة الحركية والتي يمتلكها النيوترون تعود النواة المركبة بالانحلال بأحد القنوات التالية: [3].

أ) قناة الاستطارة المرنة: هذه القناة يقصد بها ان النيوترون يقذف مرة ثانية من النواة وتعود الى حالتها الطبيعية.

ب) قناة الاستطارة غير مرنة: النيوترون يعاد قذفة بطاقة اقل من طاقته الاصلية بعد ان يعطي قسما من طاقته الى نواة الهدف مما يجعلها في حالة استثارة

ج) قناة تفاعل (n,p) : في هذه القناة تمتص النواة الكترون وتقذف بروتون حيث تبقى النواة غير المستقرة تنحل بعدها بواسطة انحلال بيتا.

د) قناة تفاعل (n,2n): في حلة كون طاقة النيوترون عالية جدا فان النيوترونين منبعثان من التفاعل اما النواة المتبقية فهي اما مستقرة او غير مستقرة.

ه) في بعض حالات تفاعلات النيوترونات السريعة القذف لم تقذف النواة اي جسيم لاكن طاقة الاستثارة يمكن ان تقذف على شكل اشعاع كاما ان مثل هذا التفاعل (n,y) هو اقل اهمية في التفاعلات ذات الطاقة العالية منه في الطاقات الواطئة .

ان تفاعلات النيوترونات بصورة عامة تعتمد في الدرجة الاساس على نوع الهدف فالنسبة للنيوترونات السريعة نلاحظ ما يلي: [3]

في المواد الخفيفة (الصغيرة) النيوترونات السريعة يمكن ان تحدث انحلال كامل او تفاعلات من نوع (z الصغيرة) مثل انحلال الى ثلاث جسيمات الفا.

اما في المواد المتوسطة (z المتوسطة) فالتفاعلان (n,p)و(n,2n) يكونان مهمين خاصة عندما يعطيان نواتج للنواة الغير مستقرة. [3]

حيث تحدث هذه التفاعلات عندما تكون طاقة النيوترون أكبر من طاقة العتبة.

اما في المواد الثقيلة (z) او النواة الثقيلة في النيوترونات السريعة تحدث الانشطار حيث ان العملية هي ليست العملة المهمة في الانشطار لان عملية الانشطار كما نعلم والمستخدمة في المفاعلات ان نستخدم النيوترونات السريعة [3].

الفصل الثاني

المفاعل النووي

1-2 الانشطار النووى

مقدمة..

الانشطار النووي عبارة عن تفاعل نووي ناتج عن قصف مادة قابلة للانشطار (اليورانيوم و البلاتونيوم مثلا) بالنيوترونات ، ففي كل انشطار نووي تقسم نواة المادة المنشطرة جزئيين او اكثر متساويين بالحجم ، كذلك تتحرر عدد من النيوترونات المتحررة من الانشطار تخرج بسرعة بحيث لا تصطدم مرة ثانية بذرات المادة المنشطرة مالم تخفض سرعتها باستخدام مهدى وهكذا تستمر عملية الانشطار النووي المؤدية الى شظيتين يطلق عليها بالانشطار الثنائي وهي الحالة السائدة ، الا ان هناك حالات تنقسم فيها النواة الى ثلاث اقسام وتسمى بالانشطار الثلاثي. ومن الممكن ان تنشطر النواة الى أكثر من ثلاث شظايا، الا ان لا يحدث الا في حالات نادرة جدا[3].

تستخدم عملية الانشطار النووي في إنتاج الطاقة الكهربائية في المفاعلات النووية، كما تستعمل لإنتاج الأسلحة النووية. ومن العناصر النووية الانشطارية الهامة والتي تستخدم كثيراً في المفاعلات الذرية مادتي اليورانيوم-235 وبلوتونيوم-239، والتي هي عماد الوقود النووي. وفي الوقود النووي يتم ما يسمى بالتفاعل المتسلسل حيث يصطدم نيوتروناً مع نواة ذرة اليورانيوم-235 فتنقسم إلى قسمين؛ ويصاحب هذا الانقسام انطلاق عدد من النيوترونات يقدر عادة من 2-3 نيوترونات وفي المتوسط 2.5نيوترون[6]. ويمكن لتلك النيوترونات الناتجة أن تصطدم بأنوية أخرى من اليورانيوم-235 وتتفاعل معها وتعمل على انشطارها. بذلك يزيد معدل التفاعل زيادة تسلسلية قد يؤدي إلى الانفجار إذا لم ننجح في ترويضه والتحكم فيه. [6]

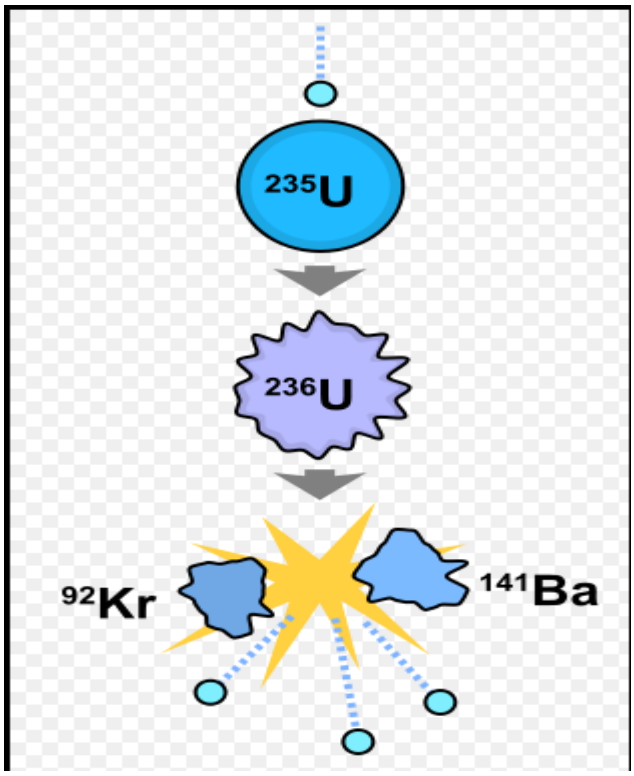
2-2تفاصيل تفاعل الانشطار النووي

تفاعل الانشطار النووي لليورانيوم-235 بواسطة النيوترون. ردة الفعل: يتم امتصاص نيوترون من نواة يورانيوم-235، وتحولها في فترة وجيزة إلى نواة مثارة يورانيوم-236، بواسطة طاقة الإثارة التي توفرها الطاقة الحركية للنيوترون بالإضافة إلى القوى التي تربط النيوترون. وينقسم اليورانيوم-236 بدوره إلى عناصر أخف حيث تتحرك بسرعة (منتجة انشطارية) وتنتشر كمية صغيرة من النيوترونات الحرة. وفي الوقت نفسه، يتم إنتاج واحدة أو أكثر من أشعة كاما.

يختلف الانشطار النووي عن عملية التحلل الإشعاعي من ناحية انه يمكن السيطرة على عملية الانشطار النووي خارجيا. تقوم النيوترونات الحرة الناتجة من كل عملية انشطار وهي في المتوسط 5 و2 نيوترونا، بالتفاعل مع اليورانيوم أو البلوتونيوم وتتسبب في انشطارها. وهذا بالتالي يؤدي إلى تحرير نيوترونات أخرى. وتستمر هذه السلسلة من التفاعلات التي تسمى تفاعل متسلسل.

يطلق على نظائر عناصر كيميائية لها القدرة على تحمل هذه السلسلة الطويلة من الانشطارات النووية اسم الوقود النووي. من أكثر أنواع الوقود النووي استعمالا هي اليورانيوم ذو كتلة ذرية رقم 235 (يورانيوم-235) وبلوتونيوم ذو كتلة ذرية رقم 239 (بلوتونيوم-239)، هذين العنصرين ينشطران بصورة بطيئة جدا تحت الظروف الطبيعية التي تسمى ب الانشطار التلقائي وتأخذ هذه العملية التلقائية ما يقارب 550 مليون سنة عمر النصف لليورانيوم. أما في المفاعل النووي فتجمع كمية من الوقود النووي فوق الكتلة الحرجة ويجري التحكم فيها بواسطة

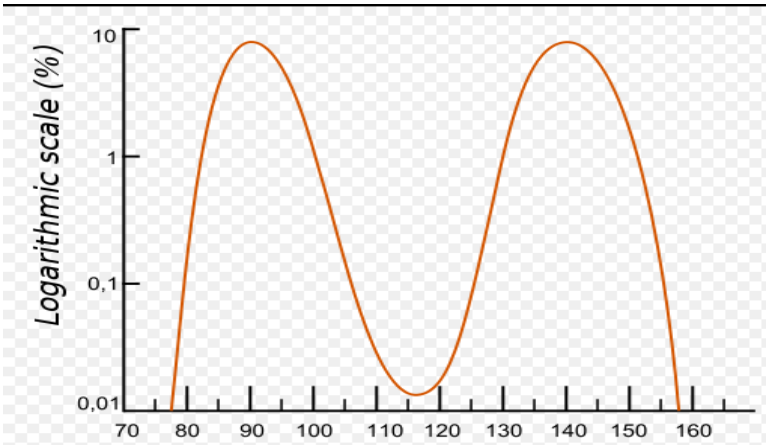
قضبان تتخللها من الكادميوم الماصة للنيوترونات. بذلك يمكن المحافظة على معدل سير التفاعل لإنتاج الطاقة ومنعه من الانفلات وأحداث الدمار.



4-2 انشطار اليورانيوم بواسطة النيترونات الحرارية :

بالإمكان حدوث عملية الانشطار باستخدام النيوترونات الحرارية (النيوترونات الحرارية عبارة عن نيوترونات طاقتها تقريبا (0.025 ev) هنالك ثلاث نوى U^{233}وPu^{239} تحدث فيها عملية الانشطار النووي عند امتصاصها النيوترونات الحرارية . فعند حدوث مثل هذا الانشطار يتكون بالإضافة الى انقسام النواة الى قسمين ، انبعاث نيوترونات واشعة (كاما) . وان انبعاث النيوترونات يكون اعتماديا وكمعدل بين 2.51 و 2.44 و 2.89 لكل انشطار للنوى U^{233}وPu^{239} على التوالي . ان سلوك الانشطار للنظيرين $Pu^{239}U^{235}$وU^{233} مشابه الى U^{235} لذا فسوف نتطرق لمناقشة U^{235} فقط. ان مادة اليورانيوم الخام الموجودة في الطبيعة تحتوي على 0.72% من نظير U^{235}، لذلك فان عملية فصل هذا النظير عن بقية نظائر اليورانيوم صعبة ومكلفة ماديا . لذا فان اليورانيوم الطبيعي المخصب (enriched) او الغني بنظير U^{235} هو الذي يستخدم في المفاعلات النووية وفي اغراض اخرى [3].

ان انشطار نواة اليورانيوم –235 بواسطة النيوترون الحراري او البطيء يعطي انبعاثا لعدد مختلف من نواتج الانشطار (شظايا الانشطار) نوى اليورانيوم 235 بين $A=80$ و $A=160$ وكما هو موضح بالشكل (1-7) ، حيث ان نواتج الانشطار $y(A)$ الناتجة من التفاعل قد رسمت مع العدد الكتلي (A).هذا وان مجموع كتل نواتج الانشطار اقل من مجموع كتلة النواة المنشطرة والنيوترون المسبب للانشطار ، ويمثل نقصان كتلة الكتلة ، الطاقة الهائلة التي تصاحب عملية الانشطار [3].



شكل (*1-2*) يوضح نواتج الانشطار النووي لليورانيوم *235* بعد امتصاصه النيوترونات

$$\boldsymbol{U^{235} + on^{2} \rightarrow (\text{الانشطارشظايا}) + \text{نيوترونات} + \text{طاقة}}$$

شظايا الانشطار اما (نواة الزينون 140+ نواة السترنتيوم 94) او (نواة الكريتون 92 + نواة الباريوم 141) في هذا التفاعل تتكون لدينا نواة مركبة $_{92}U^{236}$ في حالة استثارة تبلغ طاقتها 16.4 Mer بعدها تنحل بواسطة انشطار النووي مكونة شظايا الانشطار حيث تتنافر مع بعضها بواسطة " قوة كولوم " فاقدة طاقة كامنة وحاصلة على طاقة حركية. [3].

في عمليات الانشطار النووي هناك اكثر من ثلاثين اسلوب للانشطار ففي كل انشطار يتولد زوجان من مختلفان من النوى ، ومن اكثر النوى شيوعا هي الباريوم (*Barium*) اللينثوثيوم (*Ianthanum*) والبرومين (*Bromine*) المولبديوم (*Moiybdenum*) الرابديوم (*Rubidium*) الكريتون (*Krypton*) الايودين (*Iodion*) الزينون (*Xenon*) والسزيوم(*Cwsium*) . [3].

لقد لوحظ ان انبعاث اشعاع في العمليات الانشطار يرجع لعدم استقرار النوى المتمثلة في شظايا الانشطار لاحتوائها على عدد كبير من النترونات والتي تعمل للتخلص منا وذلك بانحلالها بعد ان تنبعث جسيمات (B^-) في معظم الحالات تمر هذه الشظايا سلسلة من الانحلالات حتى تصبح نظرا مستقرا مثل....

$$_{54}Xe^{143} \xrightarrow[Isec]{B^-} {}_{55}Cs^{143} \xrightarrow[Isec]{B^-} {}_{56}Ba^{143} \xrightarrow[< 0.5_{\min}]{\mathrm{B}^-} {}_{57}La^{143} \xrightarrow[19_{\min}]{\mathrm{B}^-}$$

سلسلة قصيرة (مستقرة) [3].

$$_{58}Ce^{143} \xrightarrow[33_{Day}]{B^-} {}_{59}Pr^{143} \xrightarrow[13.8_{day}]{B^-} {}_{60}Nd^{43}$$

$$_{60}Nd^{143} \xrightarrow[11_{day}]{B^-} {}_{61}Pm^{147} \xrightarrow[4_{yers}]{B^-} {}_{62}Sm^{147} - - - (10^{11}\ yr\ )$$

ان النيوترونات المصاحبة لعملية الانشطار قد تسبب في شطر نوى اخرى ويسبب تولد نيترون او اكثر مقابل كل نيوترون يستهلك في عملية الانشطار يمكننا الحصول على تفاعل متسلسل يكون مصدرا لطاقة هائلة [3].

6-2 تفاعل الانشطار المتسلسل (fission chain reaction)

ان استمرار عملية الانشطار في مادة اليورانيوم يطلق عليها تفاعل الانشطار المتسلسل (fission chain reaction) ولتوضيح هذه العملية نفترض اننا قمنا بقصف كمية قليلة من اليورانيوم بمائة نيوترون(100) ولنفرض ان ايضا اربعين من هذه النيوترونات انتجت انشطارا نوويا. اما الستون الاخرى فهي اما ان تمتص بدون حدوث اي انشطار او انها تتسرب او تهرب من هدف اليورانيوم (وسوف نتكلم عن هاتين الخاصتين فيما بعد). بعد الانشطار مباشرة تتولد لدينا مرة ثانية مئة نيوترون ($100=2.5 \times 40$) على اعتبار ان كل انشطار يولد 2.5 نيوترون . من هذه المائة نيوترون الثانية هناك اربعون نيوترون فقط سوف تحدث انشطارات اخرى مكونة 100 نيوترون اضافي وهكذا. لذا لا يفقد اي نيوترون. ان العملية التي فيها انشطار مستمرا بدون اضافة اي نيوترون من الخارج يطلق عليها (التفاعل المتسلسل ذاتي المقاومة) (sustained chain reactionself)[3].

ان التفاعل المتسلسل يمكن ان يحدث في حالة واحدة وهي اذا كان عدد النيوترونات المتولدة في الانشطار ($n+1$) (n تمثل اي انشطار) مساوية او اكثر من الانشطار(n) . لهذا فان معامل تكاثر النيوترونات (reproduction factor (k)) يعرف كما يلي :

$$K=\frac{\text{عدد النيوترونات في الانشطار}(\boldsymbol{n+1})}{\text{عدد النيوترونات في الانشطار}(\boldsymbol{n})} \ldots.(1\text{-}2)$$

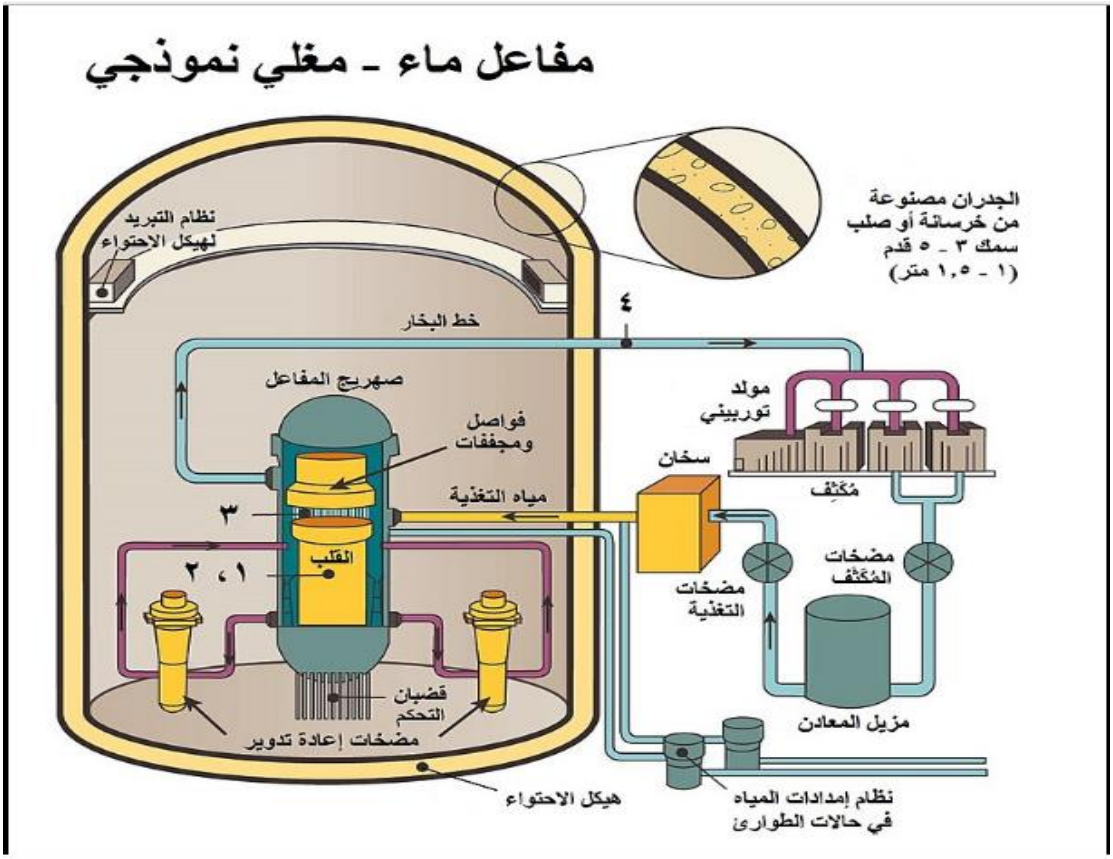
فاذا كانت قيمة ($k=1$) فهذا يعني ان عدد النيوترونات في الانشطار ($n+1$) مساوي الى عدد النيوترونات في الانشطار (n) وهذا يعني كذلك ان الحالة تصبح حرجة (Critical) ، اما اذا كانت($k<1$) فيعني بان عدد نيوترونات الانشطار ($n+1$) اقل منه في الانشطار (n) ، ان هذا الحالة يطلق عليها بالحالة دون الحرجة (Subcritical) . واخيرا اذا كانت ($k>1$) اي ان عدد النيوترونات في الانشطار ($n+1$) اكثر منه في الانشطار (n) فان الحالة يطلق عليها بالحالة فوق الحرجة (Supercritical). [3].

في كل انشطار تتحرر طاقة مقدارها تقريبا 200Mev ، فاذا اردنا ان نحصل على طاقة مستمرة او تجهيز مستمر من الطاقة عن طريق مفاعل نووي مثلا ، فيجب ان تكون الحالة في المفاعل حرجة ، اي ان قيمة ($k=1$) . وهذا الشرط الاساس لتشغيل المفاعلات النووية . في الحالة فوق الحرجة ، القدرة تزداد باستمرار مما يؤدي في نهاية الى عدم السيطرة عليها وبالتالي فان احتمال انفجار المفاعل يكون كبيرا وهذا ما يحدث عند تفجير القنبلة الذرية ، اما اذا كانت الحالة دون الحرجة ، فان عدد النيوترونات يتناقص باستمرار وبالتالي نصل الى مستوى طاقة مساوي الى الصفر وهذا يعني ان المفاعل لا يشتغل بعد ذلك [3].

7-2 المفاعل النووي

المفاعل النووي عبارة عن جهاز الغرض منه السيطرة على عملية الانشطار النووي المتسلسل والناتج عن وضع كمية من الوقود النووي ثم تعريضها الى مصدر نيوتروني ، عند تعرض ذرة الوقود الى نيوترونات فأنها قد تمتص احد هذه النيوترونات المصطدمة بها ، ونتيجة لذلك فأننا نحصل على نيوترون او اكثر عند انشطار اليورانيوم (*235*) . وكما قلنا سابقا ، ان عملية التفاعل المتسلسل تنشا من اصطدام احد النيوترونات الناتجة عن الانشطار بذرة وقود اخرى وبذلك نحصل على انفلاق جديد وعدد اخر من النيوترونات فالمفاعل يسيطر على هذه التفاعلات وينظمها بشكل يمنع من ان تصبح للطاقات المتولدة من الانشطار عالية جدا قد تصهر المفاعل وتعرضه الى خطر . ان المفاعلات النووية انواع عديدة يعتمد تصميمها على نوع السيطرة التي تستخدمها على التفاعل النووي وسوف نتكلم عن ذلك فيما بعد [*3*].

تستخدم المفاعلات النووية في محطات الطاقة النووية لتوليد الكهرباء ودفع السفن والغواصات. أحد أنواع المفاعلات النووية هو مفاعل الماء الخفيف الذي يعمل باليورانيوم المخصب - به نحو *3و5* % من اليورانيوم-*235* القابل للانشطار عند امتصاصه نيوترونا - وتبلغ كمية اليورانيوم المخصب فيه نحو *100* طن. تعمل الطاقة الحرارية الناتجة على تسخين الماء المحيط باليورانيوم حتى درجة الغليان، فيتولد بخار عند ضغط عالي. هذه "الكومة" الذرية الغاطسة في الماء موجودة داخل صهريج المفاعل (انظر الشكل). يتم نقل البخار عالي الضغط عبر التوربينات البخارية فيدور. يمكن استغلال دوران التوربين في دفع مراوح السفينة أو لإدارة المولدات الكهربائية. ويمكن استخدام الماء الساخن المتولد من تفاعل انشطار اليورانيوم من حيث المبدأ في العمليات الصناعية أو للتدفئة في المناطق الباردة. ولكن يجب معرفة أيضا أن الماء المحيط بالكومة الذرية يصبح مشعا مع الوقت ولا يصلح للاستخدام المدني، لهذا يتم تدويره في مبادل حراري تنتقل فيه الحرارة من ماء المفاعل إلى ماء آخر نظيف يمكن استغلاله. أي تكون في المفاعل دورتان للمياه : دورة أولية داخل المفاعل، ودورة ثانوية خارج المفاعل، والأخيرة تكون نظيفة ويمكن استغلال حرارتها في الأغراض المدنية. [*3*].



كما تستخدم بعض المفاعلات النووية الصغيرة لإنتاج نظائر مشعة للاستخدام الطبي والصناعي، أو لإنتاج البلوتونيوم-239 من اليورانيوم الطبيعي - بستخدم البلوتونيوم-239 في صنع الأسلحة النووية. كما يمكن استخدام البلوتونيوم-239 بعد خلطه بنسبة نحو 4 % مع اليورانيوم الطبيعي في تشغيل مفاعل نووي يولد الكهرباء. كما توجد مفاعلات صغيرة أيضا لأغراض البحث العلمي - حيث تستخدم النيوترونات الناتجه فيه في فحص المواد والتعرف على تركيب المواد، وتحليل الشوائب في الأنهار والبحار والهواء. وحتى نيسان / أبريل 2014، أبلغت الوكالة الدولية للطاقة الذرية عن وجود 435 مفاعلا للطاقة النووية في 31 بلد حول العالم[7].

بشكل عام، هناك نوعان من المفاعلات النووية، نوع يستخدم في محطات الطاقة النووية لتوفير الطاقة اللازمة لإنتاج الكهرباء ومن الأمثلة عليه مفاعل القدرة المائي-المائي الروسي (بالإنجليزية: *Water-Water Energetic Reactor*)، وكذلك مفاعل الماء الخفيف (بالإنجليزية: *Light-water reactor*)، كما يستخدم أيضاً في تسيير السفن والغواصات. وتعمل تلك المفاعلات عند درجات حرارة عالية، وضغط للبخار عالي يصل إلى نحو 400 ضغط جوي. من في تلك المفاعلات يتم انتقال الحرارة الناتجة من الانشطار النووي إلى سوائل التشغيل (مثل الماء أو غاز)، وينتج من مفاعل الماء الخفيف البخار عال الحرارة والضغط الذي يمر بدوره عبر توربينات لتويره. وتقوم تلك التوربينات بتحريك مراوح السفينة أو بتدوير المولدات الكهربائية. ويمكن استخدام الماء الساخن المتولد من تلك المفاعلات من حيث المبدأ

في الأغراض الصناعية أو استخدامه لإنتاج ماء عذب من مياه البحر عن طريق تحلية المياه أو استغلاله لتدفئة البيوت في المناطق الباردة. [7].

أما النوع الآخر من المفاعلات فتعمل على توفير الإشعاع الذري من نيوترونات وأشعة غاما، وتستغل النيوترونات لإنتاج الوقود النووي، مثل إنتاج البلوتونيوم أو لإنتاج نظائر مشعة لاستخدامها في الطب أو في الصناعة بواسطة التصوير بالأشعة لمعرفة سلامة الأجزاء المصنعة وسلامتها من الشقوق. كما يستخدم لأغراض البحث العلمي ولأغراض أخرى مثل تحويل عناصر كيميائية معينة إلى عناصر أخرى أو لإزالة الأملاح والمعادن من الماء للحصول على الماء النقي (تحلية الماء) أو لإنتاج البلوتونيوم-*239* لتصنيع الأسلحة النووية. [7].

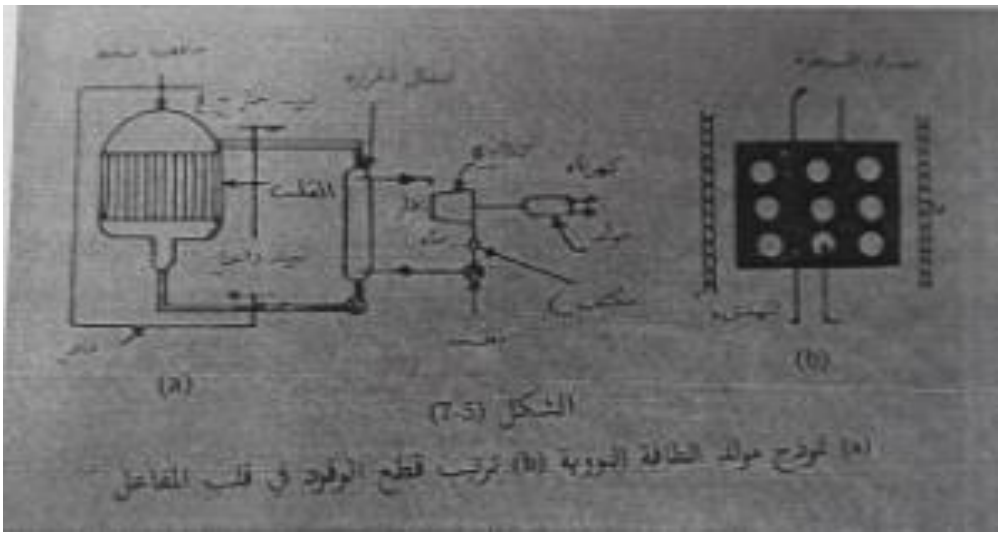
جميع المفاعلات النووية تتكون من وعاء ثقيل يشبه الصهريج أو الخزَّان ويسمى وعاء المفاعل أو وعاء الضغط يحوي داخله "قلب" (بالإنجليزية: *Core*) من الوقود النووي. معظم المفاعلات تحتوي أيضاً على "مُهَدِّئ" (بالإنجليزية: *Moderator*) لإبطاء سرعة النيوترونات إلى النقطة التي يمكن عندها جعل التفاعل المتسلسل يدوم دون أن يتوقف أو يزيد عن الحد يمكن أن يكون المهديء هو الماء. كل المفاعلات تحتوى أيضاً على "مُبَرِّد" (بالإنجليزية: *Coolant*) للتحديد درجة حرارة قضبان اليورانيوم حتى لا يصيبها الضرر فيفسد المفاعل - ما عدا المفاعلات ذات الطاقة المنخفضة جداً فيمكن أن يكون المهديء فيها الجرافيت. ويتم تنظيم سرعة التفاعل النووي أو "السيطرة عليه" من خلال "نظام للتحكم" (بالإنجليزية: *Control System*) المكون من قضبان كادميوم تمتص النيوترونات الزائدة عند تغطيسها في قلب المفاعل بين قضبان اليورانيوم، فيتم التفاعل المتسلسل هادئا. كما تُفْرَض احتياطات للسلامة صارمة جداً في تشغيل المفاعلات، ومعالجة منتوجات التفاعل الثانوية المشعة والتخلص من النفايات الخطرة. [7].

9-2 تشغيل المفاعل

للبدء في تشغيل اي مفاعل ، توضح قيمة (*k*) اكبر قليلا من الواحد فاذا استخدم اليورانيوم الطبيعي كوقود . فأننا لا نستطيع الحصول على الحالة الحرجة ، وذلك بسبب اليورانيوم الطبيعي يحوي على *238.235* بنسبة *1/138* وهذا يعني ان مقدار U^{235} يكون *0.7%* و U^{238} يكون *99.3%* فعندما يسقط نيوترون حراري على الوقود الحاوي على اليورانيوم الطبيعي ، فان معظم النيوترونات المتولدة تفقد بواسطة الامتصاص في U^{238} والتي اي حدث فيها اي انشطار وكذلك بهروبها من المفاعل . وذلك لزيادة الاحتمال الانشطار النووي يجب تخصيب اليورانيوم *enriched* بنظير U^{235} (عملية التخصيب تعني زيادة نسبة احد النظائر اليورانيوم على الاخر) واستخدامه كوقود في المفاعل[3].

الشكل (*2-2*) يوضح الشكل الاعتيادي لمولد القدرة النووية فقلب المفاعل (*core*) يحوي على وحدات الوقود او قضبان الوقود وهي ذات حجوم محدودة من اليورانيوم الطبيعي او المخصب باليورانيوم *235* تخلق هذه القضبان بصورة جيدة وذلك لاحتواء الوقود اولا ونتائج الانشطار ثانيا ولمنع تسربها الى مادة التبريد (المهدئ) ثالثا وحدات الوقود تقريبا في قلب المفاعل

بأسلوب هندسي يفسح المجال اوضح مادة المهدئ اللازمة لتبطئه سرعة النيوترونات الشكل (*2-2-b*) حيث تكون هذه المادة وفي اغلب الاحيان ماءا ثقيلا (*D2O*) ، يستخدم المهدئ لتبطئه النيوترونات السريعة الناتجة عن الانشطار وجعل احتمال مسكها مرة اخرى او دخولها في انشطار ثاني كبيرا . كذلك يوجد في قلب المفاعل وبين وحدات الوقود ، قضبان السيطرة المصنوعة عادة مادة الكادميوم (الكادميوم له مقطع عرضي عالي لامتصاص النيوترونات الحرارية) او الفولاذ الحاوي على مادة البورون [*3*].



تستخدم هذه القبضان للسيطرة على سرعة التفاعل الانشطاري (مستوى القدرة) ، اي لزيادة القدرة تدفع هذه القضبان الى الخارج اما للتقليل من مستوى القدرة تدفع القضبان الى الداخل . ولمعرفة درجات الحرارة والتحكم بها وكذلك كثافة الفيض النيوتروني توضع اجهزة قياس في اماكن محدودة في قلب المفاعل. [*3*].

يحاط قلب المفاعل بعاكس للنيوترونات يعكس النيوترونات الضالة ليعيدها الى قلب المفاعل وامثلة هذه المواد العاكس عادة هي المواد المهدئة ذاتها. لذلك وفي المفاعلات يمتد الحيز الذي تشغله مادة المهدى الى خارج الحيز الذي تشغله قبضان الوقود. ان وجود العاكس يزيد من كثافة القبض النيوتروني في قلب المفاعل. ان الحرارة المتولدة بالانشطار في قلب المفاعل تؤخذ بعيدا بواسطة انابيب معينة الى اجهزة التبريد وبذلك تستخدم هذه الحرارة لتوليد البخار. حيث يستفاد منه في تدوير التوربينات وبالتالي توفر الكهرباء من خلال المولدات[*3*].

وللمقارنة ، اذا تصورنا ان طنا واحد من الفحم يعطي طاقة حرارية مقدارها *0.36* ميكا واط باليوم تقريبا ، اذن ممكن القول ان : 1 طن من اليورانيوم = 106×0.7 طن من الفحم .

وقبل البدء بتشغيل المفاعل توضع قضبان السيطرة داخل المفاعل بصورة قليلة وذلك لضمان امتصاص جميع النيوترونات لكي لا يحدث اي انشطار نووي. وعند البدء بالتشغيل، ترفع هذه القضبان تدريجيا بغية الحصول على فيض نيوتروني متوزع بانتظام داخل قلب المفاعل وبذلك تبدأ عملية الانشطار [3]

20-2استخدام المفاعلات

تستخدم المفاعلات في توليد وانتاج ما يلي:

١- القدرة
٢- مصدر النيوترونات
٣- النظائر المشعة والمواد القابلة للانشطار

اولا: القدرة

ان التسرب الحاصل في الطاقة الحركية لنواتج الانشطار في المفاعل النووي هو مصدر الطاقة الحرارية ، حيث يستفاد منها في تحويلها خلال قنوات خاصة لتوليد الطاقة الكهربائية [3]٠

ثانيا: مصدر النيوترونات

تكون نسبة الفيض النيوتروني داخل المفاعل عالية جدا وتصل ($10^{19}\ neutrons\ /m^2 - sec$) تقريبا ، مثل هذا الفيض يستخدم ضمن قنوات خاصة في تجارب في الفيزياء او لتشيع المواد او لانتاج النظائر المشعة بتفاعلات (n-y) . [3].

ثالثا: انتاج المواد القابلة للانشطار

المواد المشعة مثل اليورانيوم 238 والنوريوم 232 والتي لا تدخل في عملية الانشطار على الاطلاق مع النيوترونات ذات الطاقة الواطئة ، يمكن تحويلها في المفاعل الى نوى تنشطر بواسطة نيوترونات حرارية وحسب التفاعلات الاتية:

وكلا النواتين U^{238} وTh^{232} لاتنشطر بواسطة النيوترونات الحرارية لكن عند اسر النيوترونات من قبلها فان المفاعل يعطي مواج مثل PN^{239} وU^{233} وكلاهما ينشطران بواسطة النيوترونات الحرارية [3] ٠

11-2تجديد الوقود

بين فترة واخرى يتم تجديد الوقود الناري داخل قلب المفاعل وذلك لما فرض من عدة تغيرات اثناء عمليات الانشطار النووي ومن اهم هذه التغيرات:

اولا: التناقض الحاصل بعدد نوى الوقود U235 والتي تنشطر نتيجة امتصاصها النيوترونات الحرارية وكذلك بعدد نوى U238 والتي تتحول الى البلونوريوم في نهاية سلسلة الانحلالات بعد امتصاصها للنيوترون الحراري. [3].

ثانيا: زيادة تركيز النظائر المستقرة.

ثالثا: التشوه الحاصل بالوقود نتيجة التصادمات التي بحدتها الفيض النيوتروني الهائل داخل قلب المفاعل. لذا فاذا استمر المفاعل بالتشغيل لفترة طويلة توجب اعادة النظر في تجديد الوقود وذلك

بسب قلة كفاءة المفاعل. ان طريقة تجديد الوقود مهمة صعبة جدا حيث يتم تبديل قضبان الوقود الواح تلو الاخر [3].

12-2مبدأ عمل المفاعل النووى

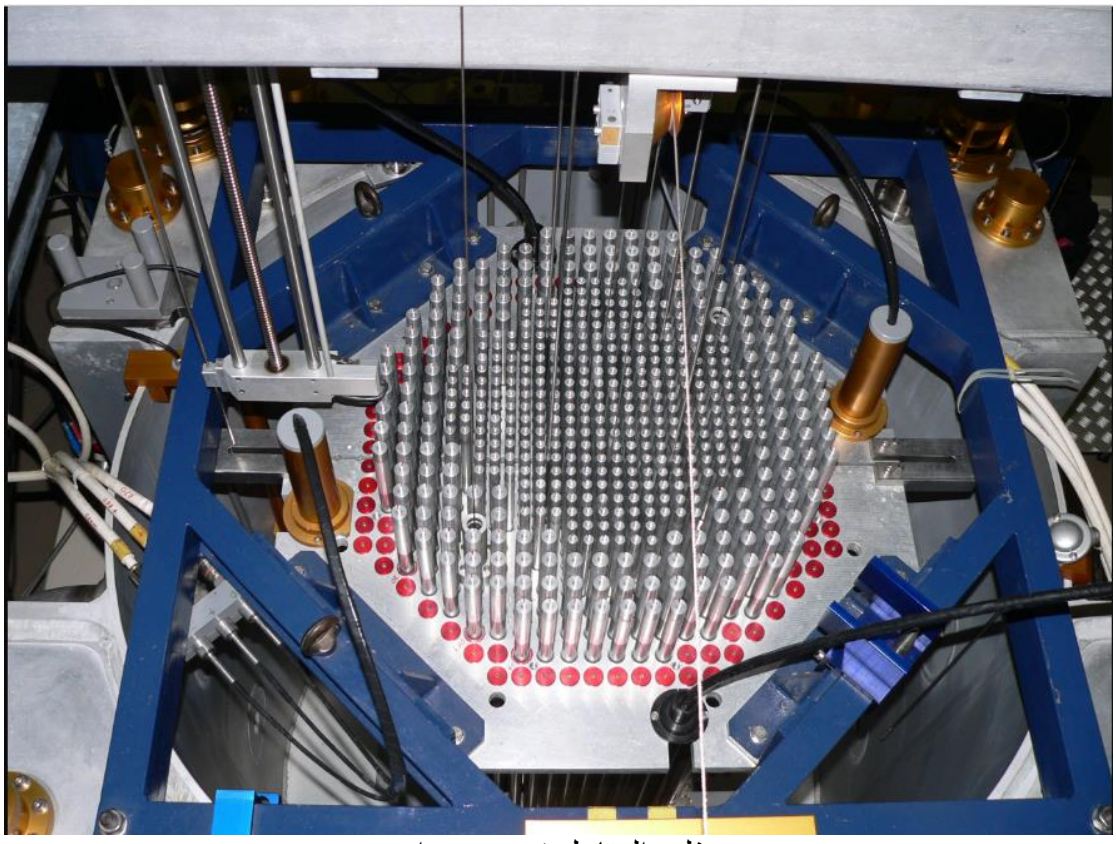
كما بينا ان التفاعلات داخل المفاعل النووي هو عبارة عن جهاز تتم داخله سلسلة من التفاعلات النووية المراقبة تكون النيوترونات والبروتونات في النواة مرتبطة فيما بينها بقوى كبيرة والتي لا يكون تأثيرها واضحا الا من اجل مسافات صغيرة جدا٠ تحتوي النوى الثقيلة مثل اليورانيوم والبلوتونيوم على عدد كبير من البروتونات، والتي تحتاج في بعض الاحيان ان تجذب نيترونا اضافيا لاستقرار نواتها [*4*].

إذا اخذت احدى هذه النوى الثقيلة () نيترونا فأنها تأخذ معها طاقة تحول هذه الطاقة النواة الى حالة غير مستقرة () فتنقسم بسرعة محررة نيترونين او ثلاثة نيترونات تستعمل لانشطار نوى اخرى تسمى النوى الجديدة نواتج الانشطار، وتكون لها طاقة ربط أكبر من الذرات الثقيلة الاولى، والفرق في هذه الطاقة يتحول الى طاقة حركية لنواتج الانشطار، والتي تتحول بدورها الى حرارة بفعل التصادم، يستفاد منا مثلا في التسخين او انتاج الكهرباء[*4*].

مفاعل نووي للبحث عن كارولينا الجنوبية في الولايات المتحدة الامريكية

قاعة المراقبة لمفاعل نووي

غواصة نووية



قلب المفاعل في سويسرا

13-2مكونات المفاعل النووي

هناك مفاعلات طبيعية (موجودة في الطبيعة) ومفاعلات صناعية من صنع البشر فالنجوم وكالشمس ماهي الا مفاعل اندماجي كبير تحدث بداخله الكثير مت التفاعلات المتسلسلة والتي تطلق كميات كبيرة من الطاقة التي تحافظ على الحياة من الزوال فهي تمدنا بالحرارة والضوء اما المفاعلات الصناعية فهي تستخدم الوقود النووي كاليورانيوم وعن طريق اجراء سلسلة من التفاعلات النووية تحرر تلك الطاقة الكامنة داخل النواة [5].

فلنتعرف على مكونات المفاعل النووي: -

١) **القلب** او core: وهو المكان الذي يحوي قضبان الوقود (مثل الصورة اعلاه) [5].
٢) **مهدئات**: وهي موانع (غالبا تكون مياه) وهي تستخدم في خفض سرعة النيوترونات والسيطرة على معدل الانشطار، وفي حالات مفاعلات توليد الكهرباء يستخدم في نقل حرارة التفاعل ويتحول الى بخار عالي الضغط يستخدم في ادارة التوربينات. [5].
٣) **مبادلات حرارية**: لان البخار العالي الضغط يكون ملوثا بالإشعاع ولمنع تسرب هذا الاشعاع توجد مبادلات حرارية والتي تفصل ماء التبريد التي تلامس قلب المفاعل وتكون نسبة الاشعاع فيها خطيرة والماء المضغوط المستخدم في ادارة التوربينات. [5].
٤) **حاويات**: وهي جسم المفاعل الخارجي وهي عبارة عن جدران سمكها حوالي 25 سم من الحديد الصلب لمنع تسرب الاشعاعات خارج المفاعل [5].
٥) **قضبان التحكم:** عبارة عن قضبان مصنوعة من الكادميوم او سبيكة صلبة والبور وتستخدم في امتصاص النيوترونات والتحكم بها [5].

14-2التفاعلات داخل المفاعل

تصدم نوية اليورانيوم المخصب بسيل من النيوترونات فتنشطر النواة الى جزئيين ويحدث فرق في الكتل بين كتلة اليورانيوم وكتلة الانوية بعد الانشطار وطبقا لمعادلة أينشتاين فيتحول فرق الكتلة الى طاقة واثناء التفاعل تخرج نيوترونات اخرى كناتج تفاعل تمر من خلال المهدئات وتشطر انوية جديدة وهكذا [5].

ولكن لابد للتفاعل المتسلسل ان يسير بمعدل ثابت، ولا يسمح له للتزايد المستمر مثلا القنبلة حيث ينتج عن كل نيوترون يتفاعل مع احد انوية اليورانيوم منتجة 9 نيوترونات، وهذه تتفاعل مع اليورانيوم وتنتج بدورها 27 نيوترونا وهكذا وهذا ما يحدث في القنبلة الذرية. ولكن في المفاعل القوي يجري التحكم في سير التفاعل عن طريق قضبان التحكم المحتوية على الكاديوم التي تمتص النيوترونات الزائدة وتحافظ على ان يكون معدل سير التفاعل مساويا للواحد. [5].

اي بحيث ان كل نيوترون يتفاعل مع اليورانيوم وينتج مثلا 3 نيوترونات ، فتقوم قضبان التحكم بامتصاص 1نيوترون ويمتص الماء1 نيوترون للتفاعل مع اليورانيوم -235 وهكذا.

انقسام نواة اليورانيوم 235 لا يتم عشوائيا. لا نها كي تنقسم، لابد ان يصطدم نيترون جديد بنواة اليورانيوم. عندها تنقسم النواة فتحرر طاقة، بصحبة اثنين او ثلاث نترونات اخرى يمكن لهذه النترونات ان تصطدم اثناء تحليقها بنواة اخرى لليورانيوم 235 مما يؤدي الى انقسام اخر ، يطلق العنان لمزيد من النيترونات والطاقة وهكذا دواليك . هذه هي التفاعلات المتسلسلة الشهيرة التي تصدر الطاقة في المفاعل النووية. [5].

تنطلق النيترونات المحررة بسرعة هائلة لدرجة ان احتمال اصطدامها بنواة اليورانيم ضئيلة جدا. لتعزيز احتمالات الاصطدام. لابد من تخفيف من سرعة النيوترون. يتم ذلك من خلال معدل، يتشكل من مادة تقلل من سرعة النترونات دون ان تمتصها. في المفاعل مائي متخصص، تلعب الماء دور المعدل. يتم تعبئة خزان حديدي بالمياه المضغوطة. الوقود على شكل بطاريات مغطاة بغلاف معدني تسمى بالأقلام. [5].

وتمر المياه عبر الاقلام، وهي تبطئ سرعة النترونات التي تنتقل من قلم الى اخر، لتبدأ بذلك عملية تفاعل متسلسل بالاعتماد على الذات. مرور المياه عبر حجرة المفاعل لا يجعلها تعمل فقط كمعدل، بل تمكن من السيطرة على حرارة الحجرة، وتحفظها من السخونة الزائدة. هذه المياه التي تسمى ايضا بالمياه الاساسية تقوم بوظائف اخرى، عند سخونتها تمر عبر انابيب داخلية تخص مولد البخار، الذي تدور حوله المياه ايضا. يتم اخلاء المياه التي تدور حول انابيب البخار الى مستوعب اخر، لتسخينه. ثم يخضع البخار الناجم عن هذه العملية لمضخات هائلة متصلة بمحولات، تقوم بتحويلها الى كهرباء [5].

ولأيتم اخراج البخار الى الجو بل يتم تركيزه في مستوعب على صلة بدائرة ثالثة هي دائرة التبريد. عادة ما تؤخذ المياه الباردة لهذا المفاعل من البحر او من المياه الجارية لتمويل جميع الدورات، تعود المياه من كل دورة الى حيث بدأت. مياه التبريد الى البحر، ومياه المفاعل الثانوي الى مولد البخار، ومياه البحر الى حجرة المفاعل. هذه الدوائر الثلاث تتبادل الحرارة، ولكن بظروف غير طبيعية ابدا. يفل ذلك من احتمالات تلوث البيئة، بما ان المياه الرئيسية، التي لها صلة بعناصر الوقود، تتعرض وحدها لإشعاعات نشطة [5].

15-2 تصنيف المفاعلات النووية

بنيت انواع مختلفة من المفاعلات النووية لدراسة الانشطار النووي المتسلسل والتحكم بيه والمحافظة على استمرار يته والظواهر التي تصاحبه واستغلال الطاقة التي تحرر منه. سنحاول اعطاء فكرة مفصلة وواضحة ومختصرة عن انواع وفيزياء المفاعلات النووية وتصنف المفاعلات النووية وفق للمواصفات البارزة التالية [2]. :

1/ نوع الوقود المستخدم:

تستخدم ثلاث نظائر كوقود المفاعلات وهي اليورانيوم 235 والبلوتونيوم 239 و اليورانيوم 223 ويدخل اليورانيوم في تركيب المفاعلات النووية في حالته الطبيعية اي يحتوي على 0.715 من نظيره 235 او خصب بنسبة قد تصل الى 90% اما اليورانيوم 23و البلوتونيوم 239 فيفضل استخدامها في المفاعلات المنتجة وهذا النوع من المفاعلات يقوم بتحويل المواد المخصبة الى انشطارية وينتج وقود اكثر مما يستهلك. [2].

2/ طاقة النيوترونات:

تستخدم نيوترونات حرارية لشطر وقود المفاعلات الحرارية اما المفاعلات السريعة او المنتجة اما المفاعلات السريعة اوالمنتجة فطاقة النيوترونات التي تنشطر وقودها بجب ان تكو عالية ولذا ان دخول المهدئات في تركيب هذا النوع من المفاعلات يصبح ليس ضروريا لإدامة تفاعل متسلسل. [2].

3/ المهدئات المستخدمة:

من أهم المهدئات التي تدخل في تركيب المفاعلات النووية هي الكرافيت والماء بنوعيه الثقيل والخفيف و البرليوم أو أحد اكاسيده. ومن أهم مواصفات المهدئ الجيد هي أن تكون نوى مادة خفيفة ومقطعه العرضي الامتصاص صغيره وقدرته للتخفيض عالية فمثل الماء الخفيف *H2O* له قدرة تخفيض عالية وكذلك مقطعه العرضي للامتصاص عالي نسبيا. اما الماء الثقيل *D2O* فمقطعه العرضي للامتصاص صغير ولاكن له اعلى قدرة تخفيض بين جميع المهدئات [*2*].

الكرافيت مقطعه العرضي للامتصاص صغير جدا وقدرة تخفيضه تأتي بعد الماء الثقيل وللبرليوم مقطع عرضي للامتصاص صغير ولاكن احسن قدرة تخفيض [*2*].

4/ ترتيب الوقود المهدئ:

المفاعلات النووية اما تكون مجانية 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 أو طيني أو محلول سائل من املاح اليورانيوم والمهدئ. اما في حالة المفاعل الغير متجانس فوقود يكون مركز في الصفائح أو القضبان أو اسطوانات مجوفة توزع بصورة منتظمة وفق نموذج هندسي في المهدئ [*2*].

5/ الغرض من المفاعلات:

ان الغرض من بناء المفاعلات النووية هو اما لاستخدامها للبحوث أو توليد الطاقة الكهربائية أو الإنتاج المواد المنشطرة أو لتيسير وسائل النقل. [*2*].

6/ التبريد:

لأجل تخليص المفاعل من الحرارة المتولدة بسبب الانشطار النووي تستخدم مواد تسمى بالمبردات تدور في قلب المفاعل لنقل الحرارة خارجه ثم التخلص منها او الاستفادة منها لأغراض مختلفة. عادة يدور الماء الخفيف والثقيل وبعض التحاليل الأخرى تحت ضغط ملائم لتقوم بعملية التبريد وفي بعض المفاعلات يدور الهواء تحت ضغط اعتيادي لتبريد قلب المفاعل

أو قد تستخدم بعض الغازات مثل *He* و*Co2* و *N2* لتدويره تحت ضغط عال لتقوم بالعملية. يجب أن يؤخذ بنظر الاعتبار كل ما تقدم عند تصميم المفاعل النووي[*2*].

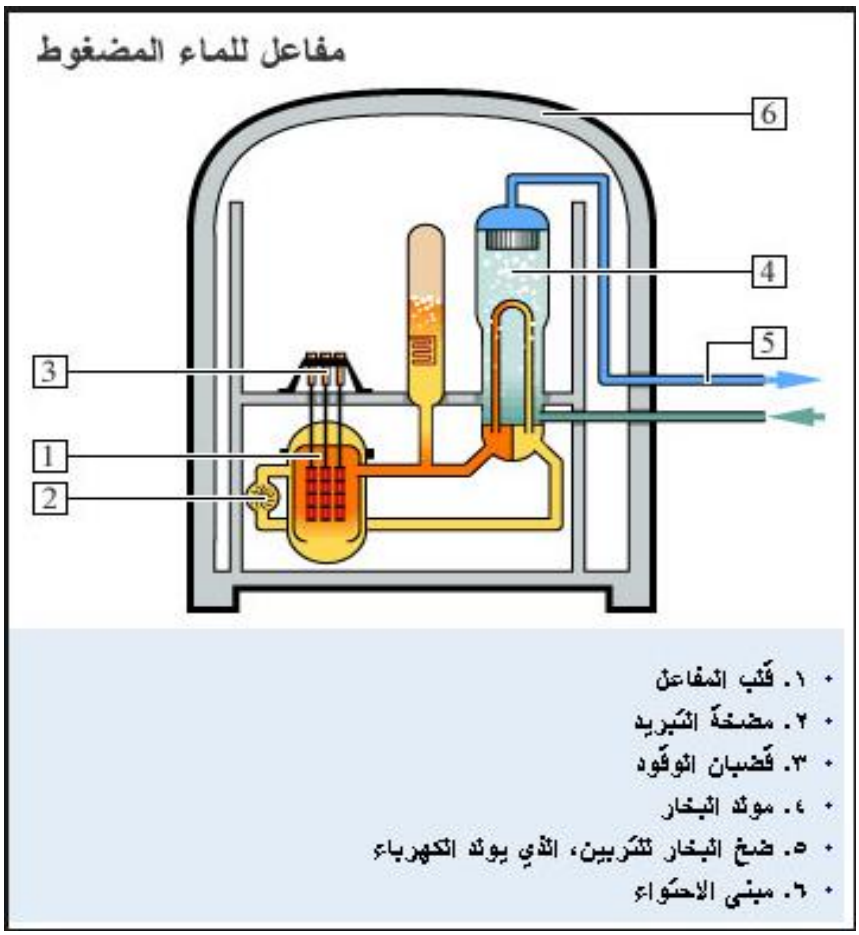
2-16مفاعلات توليد الطاقة:

ان الغاية الاساسية من عمل المفاعلات توليد الطاقة تحويل الطاقة الناتجة عن انشطار نووي الذي يحدث في قلب المفاعل الى قدرة مفيدة ومهمة المهدئ النووي الاساسية هي ابتكار وسائل تطوير تصميم المفاعل لزيادة كفاءته واستغلاله اقتصاديا [*2*].

وندرج وصف لبعض من انواعها.

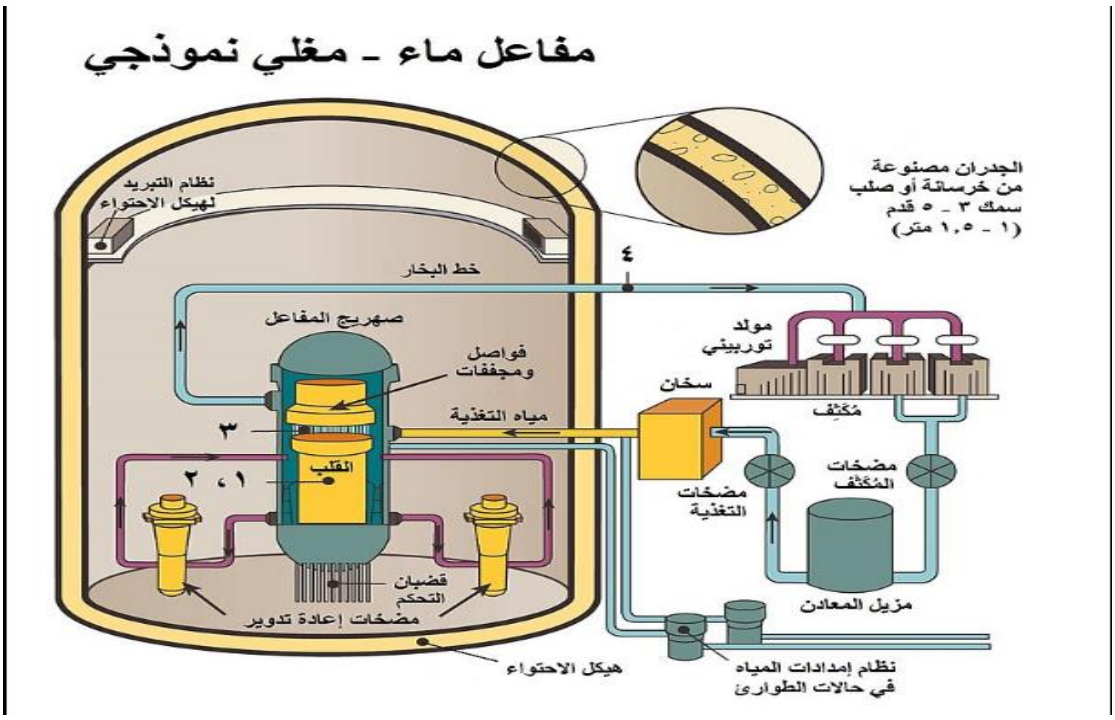
١) مفاعل نووي يبرد بالماء المضغوط

وهو مفاعل غير متجانس وقوده اليورانيوم طبيعي غني بنسبة تتراوح بين *1.4%*و *2%* من اليورانيوم -*235* . يستخدم فيه الماء الخفيف كمهدئ ومبرد في الوقت نفسه ويحتوي قلبه اناء يتحمل ضغط من $7 * 10^6$ الى $14 * 10^6$ نت/م^2 وهناك مضخة لتدوير الماء خلال القلب ومركز تبادل الحرارة خارجة ويقوم الاخير بأستخلاص الحرارة من المبرد وجعلها جاهزة لتحويلها الى طاقة من نوع اخر . [*2*].

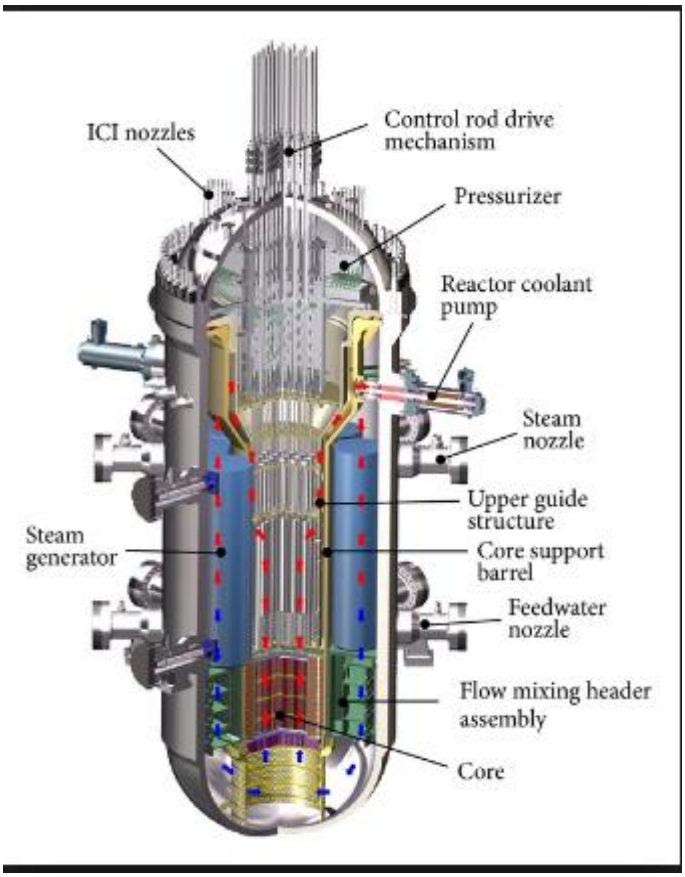


٢) مفاعل نووي يهدأ بالماء المغلي:

يمثل الشكل (*4-2* اوب) رسما تخطيطيا لمفاعل نووي يستخدم فيه الماء الخفيف كمبرد ومهدئ في الوقت ذاته ويختل هذا المفاعل عن السابق كونه يولد البخار في قلب المفاعل ثم يمرره مباشرة الى التوربين دون اللجوء الى امراره في مركز تبادل الحرارة الخارجي ويستخدم في اليورانيوم الغني كوقود وتتغير خصوبة اليورانيوم -*235* فيه الى مدى كبير . [*2*].

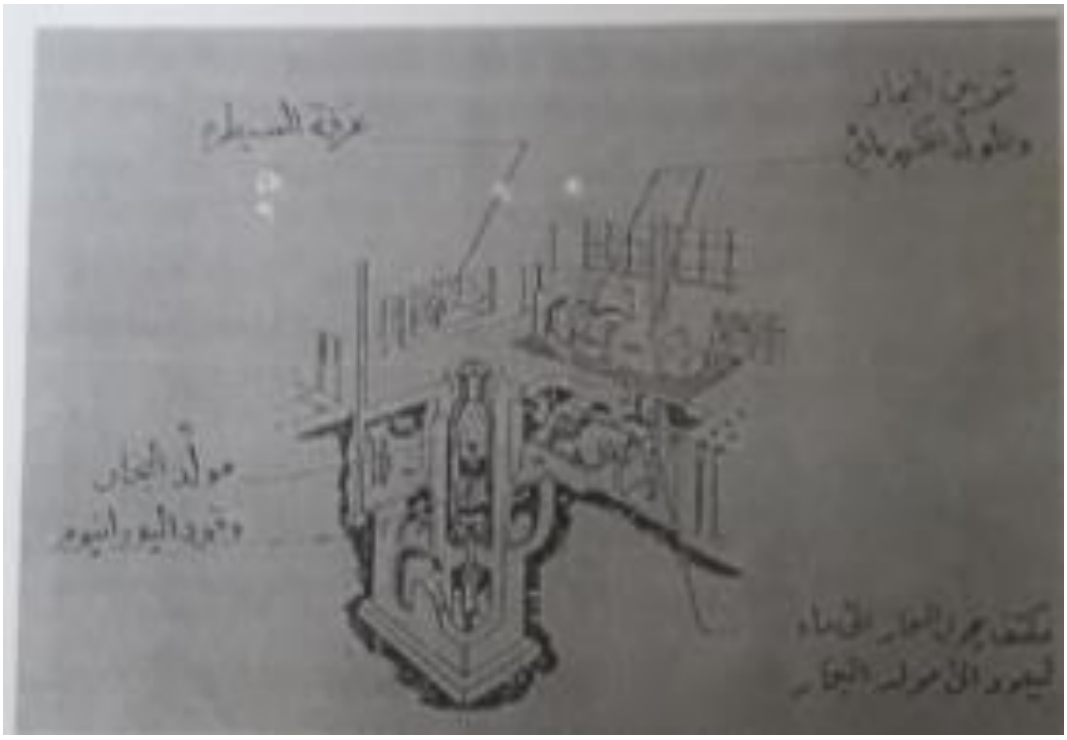


الشكل (4-2)أ



الشكل (4-2)ب

لقد اثبتت التجارب ان هذا النوع من المفاعلات امين للغاية اذ كان. تصميمه متقنا



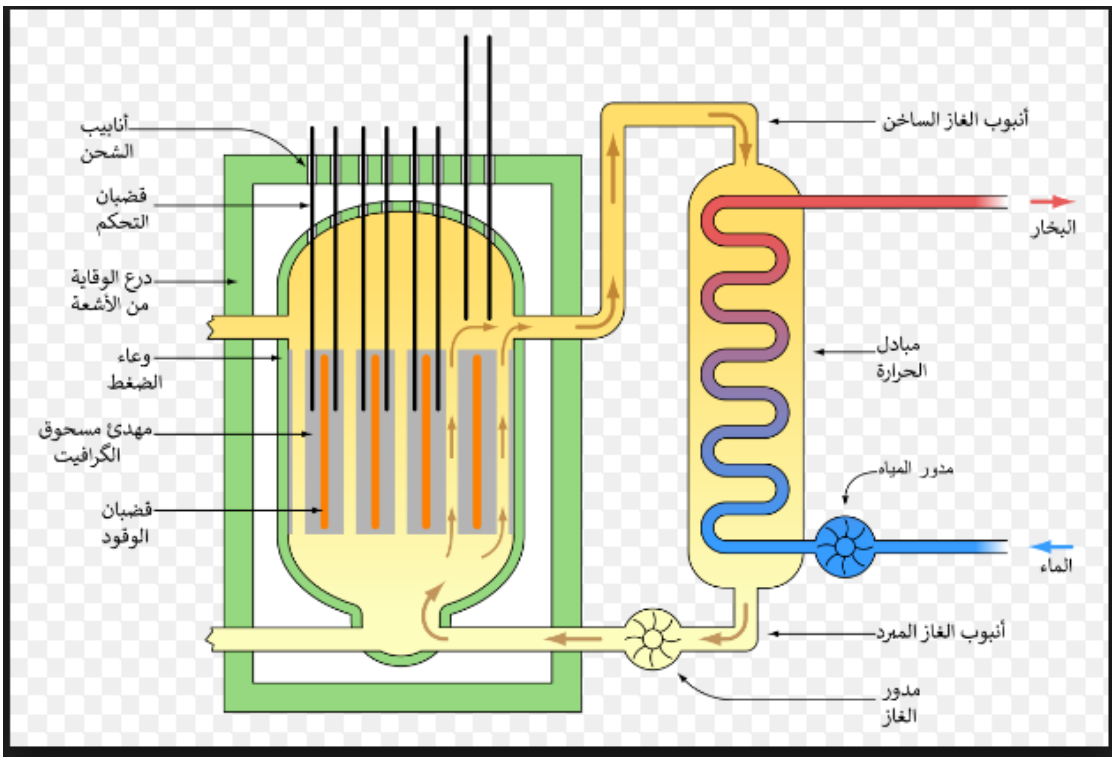
الشكل (*3-4*)

ويستخدم اليورانيوم الغني وقود في معظم تفاعلات توليد الطاقة ويتم تحويل الحرارة بصورة فعالة عند تدويرها ويمثل الشكل (*3-4*) المنظر العام الكلي لهذا المفاعل عادة يكون وقود مفاعل توليد الطاقة اما على شكل قضبان اسطوانية او صفائح ويجب ان يغلف الوقود النووي بالألمنيوم او الزركونيوم تماما ويختم لتلافي الصدأ الذي قد يحدث عند تماسه بالمبرد وكذلك لمنع تسرب النشاط الاشعاعي المنبعث من شظايا الانشطار خارج وحدة الوقود تصنع وحدات الوقود اما من معدن اليورانيوم النقي او اكاسيده مثل ويمتاز الاخير بطول عمره كوقود وعدم تفاعله مع الماء الحار ولكن ايصاله الحراري اما المعدن النقي فيعاني تفاعلا كيميائيا شديد عند تماسه بالماء الحار ولكن ايصاله الحراري اعلى من الاوكسيد [*2*].

٣) مفاعل الكرافيت – اليورانيوم الطبيعي

ان اهمية هذا المفاعل تكون في كون بنائه وعمله لا يتطلب فصل المهدى او الوقود من نظائرهما ويجب ان يكون المهدئ الكرافين على درجة عالية من النقاوة ودرجة امتصاصه للنيوترونات في نهايته الصغرى والوقود يجب ان يكون من معدن اليورانيوم.

يستخدم غاز النتروجين او اوكسيد الكاربون للتبريد ويمر في النقاوة التي تحوي على وحدات الوقود حيث يقوم بنقل الحرارة خارج قلب المفاعل وتمر القنوات خلال مهدئ الكرافيت وهي مرتبة في بينيات تعيد نفسها بصورة منتظمة. ويمثل الشكل (*4-4*) المنظر العام لهذا النوع من المفاعلات. [*2*].



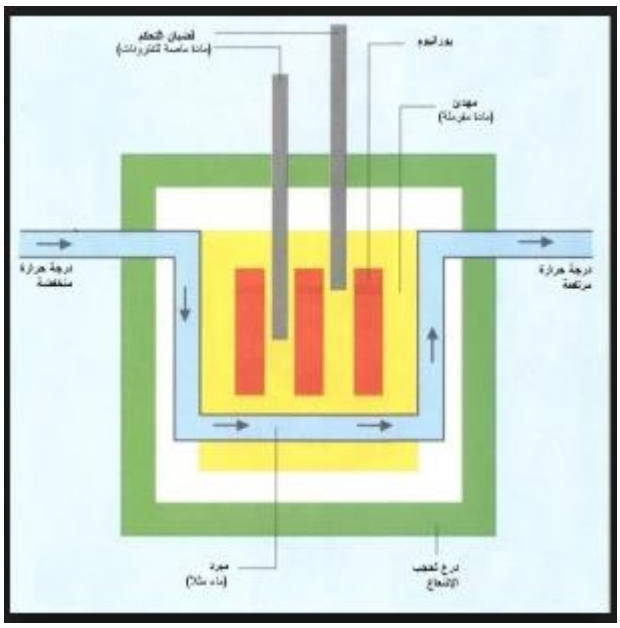
الشكل (*4-4*)

٤) المفاعل المتجانس:

يمثل الشكل (*4-5*) رسما تخطيطيا لمفاعل متجانس يدور فيه محلول سلفات اليورانيوم في الماء الخفيف او الثقيل مباشرة بين مركز تبادل الحرارة الخارجي وقلب المفاعل. [*2*].

ويحوي الاخير كرة مصنوعة من الفولاذ. الصلب حجمها من الكبر بحيث كمية المادة التي تحويها تكفي لحدود التفاعل المتسلسل كما في الشكل (*4-6*). اي انه يكون ممكنا في قلب المفاعل ولكنه غير ممكن في محل اخر منه. كما يسلط ضغط عالي لرفع درجة حرارة المحلول الى حد يكون فيها عمل المفاعل ممكن لتكون عادة أكبر من درجة غليان المحلول. [*2*].

ان مميزات هذا التفاعل المهمة هي امكانية استمراره بالعمل دون اللجوء الى ايقافه لتشديد الوقود المستهلك او ازالة البلوتونيوم -*239* المتولد [*2*].



الشكل (*5-4*)

*17-2*مفاعلات البحوث

ان الغاية من تصميم مفاعلات البحوث هي لتجهيز الباحث التجريبي بفيض نيوتروني عال وتيسره لا جراء التجارب وبعكس مفاعلات توليد الطاقة، هنا يجب تقليل الحرارة الناتجة عن الانشطار النووي الى اقل ما يمكن والتخلص منها للحافظ على سلامة المفاعل [*2*].

لنفرض ان الوقود موزع بصورة منتظمة في قلب المفاعل. وهذا يعني ان المقطع العرضي العياني للانشطار لا يعتمد على الموضع والمعدل الزمني للانشطار الكلي في المفاعل هو:

$$\int_v \int_{E=0}^{\infty} \sum_f (E)\emptyset(r,E)dEdE\ fissions/sec.$$

حيث V يمثل حجم قلب المفاعل . اما القدرة فهي

$$P = y \int_v \int_{E=0}^{\infty} \sum_f (E)\emptyset(r,E)dEdv$$

حيث $y = 2.2 * 10^{-11}$ عندما نعتبر الطاقة المتحررة لكل انشطار تساوي 200 Mev .
واذا كانت N1 عبارة عن عدد النوى الوقود بالسنتمتر المكعب الواحد ، فعندئذ :

$$\sum_f \mathrm{N_f}\ \mathrm{Q_f}(E)$$

وكما هو معروف ان $\mathrm{Q_{f(E)}}$ هو المقطع العرضي المجهري للانشطار وبدلالة M_f الكتلة الكلية للوقود في المفاعل . نحصل على :

$$N_f = M_f\ N/AV$$

حيث N هو عدد افوكادرو و A العدد الذري للنظير المنشطر . لذا يمكن كتابة القدرة الحرارية على النحو التالي :

$$= yM_f\ N/AV \int_v \int_{E=0} \sigma_f\ (E)\emptyset(r,E)dV$$

لما كان تعريف معدل $\emptyset\ (r,E)$ في قلب المفاعل هو

$$\emptyset(E) = 1/V \int \emptyset\ (r,E)dV$$

لذا القدرة تصبح :

$$P = y\ M_f\ N \int_0^{\infty} \sigma_f\ (E)\bar{\emptyset}(E)dE$$

وهذه النتيجة عامة تصبح لأي نوع من المفاعلات. وفي المفاعلات الحرارية اي تلك المفاعلات التي ينشطر وقودها بالنيوترونات الحرارية، يمكن اعتبار $\emptyset\ (E)$ ماكسويلي وتكامل هذه المعادلة هو :

$$P = y\ M_f\ Nf\ \sigma_f\ (E)\bar{\emptyset}_0$$

حيث f هو المعامل ل $y/1-y$ للانشطار اذا معدل الفيض المفاعل الذي يستخدم اليورانيوم 235 هو

$$\bar{\emptyset}_0 = \frac{P(watts)}{M_f\ (grams)} * 22 * 10^{10}\ n/cm^2\ \text{sec}$$

ولما كان M_f تتناسب مع حجم قلب المفاعل لذلك للحصول على فيض $\emptyset$ معين تخفيض القدرة اللازمة بتصغير حجم قلب المفاعل . وباستخدام مهدئ جيد مثل D2O ووقود غني يمكن جعل حجم القلب صغير جدا دون تعدي متطلبات الحجم الحرج وللحصول على حزمة من النيوترونات تفتح قنوات افقية تؤدي الى قلب المفاعل تسمى كل منها بفتحة التمجيد وطيف النيوترونات[2].

18-2تدريع المفاعل .

ان جميع المفاعلات النووية مصادر كثيفة لنيوترونات واشعة كاما. ولما كانت هذه تشكل خطرا على حياة العاملين في تشغيلها والذين يستخدمونها لا جراء الابحاث التجريبية، لذلك يجب احاطة قلب المفاعل ومركباته ذات النشاط الاشعاعي بدرع واق من الكونكريت يتراوح سمكة من 1.8م الى 2.4م لحماية صحة وحياة هؤلاء العاملين. ولما كان عمل هذا الدرع الرئيسي هو الوقاية الصحية لذلك سمية بالدرع البايلوجي وقد تستخدم مواد اخرى غير الكونكريت للقيام بنفس العمل بسبب امتصاص النيوترونات واشعة كاما الى رفع درجة حرارة سطح الدرع الملامس لقلب

المفاعل، وقد يتطلب هذا الدرع وسائل تبريد خاصة لحمايته من التشقق او ما يلم به من اضرار اخرى بسبب التأثر الحراري. ولهذا السبب يبنى الجزء الداخلي للدرع الكونكريتي من الحديد الصلب والذي يعرف باسم الدرع الحراري [*2*].

الفصل الثالث

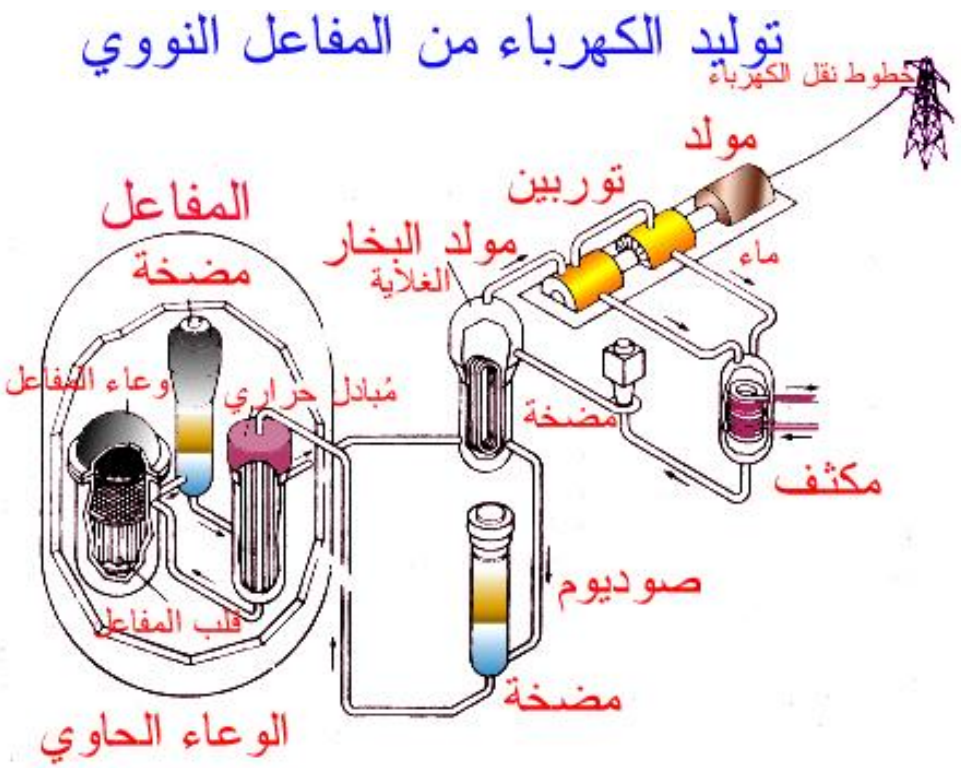
استخدام مفاعل الانشطار النووي في توليد الكهرباء

إن استخدام المفاعلات النووية لتوليد الطاقة الكهربية تعتبر ميزة كبيرة عن استخدام الفحم لتوليد الحرارة اللازمة الطاقة الكهربية لان الغازات الناتجة عن الاحتراق مثل غازات الكربون والكبريت وغيره من الغازات الناتجة هي غازات سامة وملوثة للبيئة وتنتج بكميات كبيرة بالمقارنة بالعادم الناتج عن المفاعلات النووية، وبالرغم من كل هذا الا ان اي خلل قد يحدث في المفاعل النووي قد يسبب كارثة بشرية لا يحمد عقباها مثل كارثة تشورنوبل التي نتج عنها الاف الاطنان من المواد المشعة التي تسربت الى الجو، كما ان الوقود الناتج من المفاعل النووي يعتبر مواد خطرة ويستمر تأثيرها لألاف السنين ولا يمكن التخلص منها بسهولة، كما ان نقل الوقود النووي يعتبر عملية خطرة بالرغم انه لم تحدث اي مشاكل تذكر. ولهذه المخاطر لم يتم الاعتماد على توليد الطاقة الكهربية بواسطة الطاقة النووية بنسبة كبيرة وكما ذكرنا في بداية هذا المقال فإن الاعتماد على الحصول على الكهرباء من الطاقة النووية لم يتجاوز ١٧%.[10]

ان هذا النوع من المفاعلات يعطي طاقة على هيئة حرارة، يمكن استغلالها في توليد بخار يستعمل في إدارة التوربينات وتوليد الكهرباء.

كيف تعمل محطات توليد الكهرباء من الطاقة النووية

تشبه المحطة النووية، في الكثير من مكوناتها، المحطات البخارية التقليدية، التي تنتج الطاقة من حرق أنواع الوقود الحفري، ولكن الاختلاف الأساسي في الآتي.[10]



١. طريقة توليد الحرارة اللازمة لتكوين البخار.

٢. التحكم في توليد الحرارة.

٣ .إجراءات الأمن ضد الإشعاعات[10] .

يُنتج المفاعل النووي الطاقة بطريقة مشابهة لتلك التي تستخدمها باقي محطات توليد الطاقة الكهربائية. ينتج المفاعل النووي الحرارة، التي تسخّن الماء لتحويله إلى بخار .ويقوم ضغط البخار بتشغيل مولد الكهرباء الذي ينتج الطاقة. يكمن الاختلاف في كيفية إنتاج الحرارة .تعمل محطات توليد الطاقة على حرق الوقود الاحفوري مثل الفحم والنفط أو الغاز الطبيعي لتوليد الحرارة .في محطة الطاقة النووية، تنتج الحرارة من انشطار نواة الذرة في عملية الانشطار النووي. .[10]

1- ينتج المفاعل النووي الحرارة التي تستخدم لصنع البخار.

2 - يدير البخار توربينات متصلة بمغناطيس كهربائي، يسمى المولد.

٣ - ينتج المولد الكهرباء.[10]

التوربينات التي تتحرك بفعل ضغط البخار الموجه عليها

يمنع الضغط العالي في مفاعل الماء المضغوط – وهو نوع المفاعلات التي يجري بناؤها في دولة الإمارات العربية المتحدة – المياه الموجودة في وعاء المفاعل من الغليان، ثم تنقل المياه عالية الحرارة إلى مولد البخار المؤلف من عدد كبير من الأنابيب الصغيرة .تسبب الحرارة في هذه الأنابيب تحول الماء إلى بخار يستخدم لتشغيل التوربين .وتتم إعادة المياه من المفاعل إلى وعاء المفاعل ليعاد تسخينها من جديد .يتم تبريد البخار من التوربين في جهاز مكثف وإرسال الماء الناتج إلى مولد البخار.[10]

صورة توضح انابيب ضخ البخار المضغوط لتحريك التوربينات لتوليد الكهرباء

عيوب الطاقة النووية

١ . الطاقة النووية هي طريقة مثيرة للجدل في انتاج الكهرباء. الكثير من الناس والمنظمات البيئية قلقون للغاية بشأن الوقود المشع التي يحتاجها.

٢ . كانت هناك حوادث خطيرة مع عدد قليل من محطات الطاقة النووية. واشهرها الحادث الذي وقع في تشرنوبيل (اوكرانيا) في عام ١٩٨٦، مما أدى إلى قتل نحو ٣٠ شخصا وإصابة أكثر من ١٠٠،٠٠٠ شخص.

٣ . هناك تساؤلات خطيرة نحو الإجابة بشأن تخزين النفايات المشعة والمنتجة من خلال استخدام الطاقة النووية. بعض من النفايات المشعة تبقى (خطيرة) حتى الألاف السنين، ليتم تخزينها حاليا في أماكن مثل الكهوف العميقة.

٤ . تخزين ورصد النفايات المشعة لآلاف السنين بما لديها من التكلفة العالية.

٥ . السفن والغواصات التي تعمل بالطاقة النووية تشكل خطرا على الحياة البحرية والبيئة، حيث يمكن لهذه السفن القديمة أن تقوم بالتسرب الإشعاعي إذا لم يتم الحفاظ عليها بشكل صحيح أو إذا تم تفكيكها بشكل غير دقيق.

٦ . الكثير من الناس الذين يعيشون بالقرب من محطات الطاقة النووية أو مستودعات تخزين النفايات، قد يصابوا بالحوادث النووية والتسريبات الإشعاعية. ويخشى البعض من أن تعيش في هذه المناطق، والتي يمكن أن تلحق الضرر بصحتهم، خصوصا على صحة الأطفال الصغار.

٧ . العديد من حكومات البلدان الغير مستقرة تعمل على تطوير الطاقة النووية ويمكنها أيضا تطوير أسلحة نووية وحتى استخدامها.[10]

مزايا الطاقة النووية

١ . كمية الكهرباء المنتجة في محطة الطاقة النووية بما يعادل ذلك في إنتاج الوقود الأحفوري لمحطة توليد الكهرباء.

٢ . محطات الطاقة النووية لا تحرق الوقود الأحفوري في إنتاج الكهرباء، وبالتالي فإنها لا تنتج الغازات الضارة، والغازات الملوثة.

٣ . العديد من أنصار إنتاج الطاقة النووية، يعتبروا هذا النوع من الطاقة الصديقة للبيئة والنظيفة، وذلك في عالم يواجه ظاهرة الاحتباس الحراري التي تشير إلى زيادة استخدام الطاقة النووية باعتبارها الطريقة الوحيدة لحماية البيئة ومنع تغير المناخ الكارثي.

٤ . العديد من الدول المتقدمة مثل الولايات المتحدة الأمريكية والمملكة المتحدة لم تعد ترغب في الاعتماد على النفط والغاز المستورد من الشرق الأوسط، وهي جزء غير مستقر سياسيا في العالم.

٥ . بعض البلدان مثل فرنسا تنتج ما يقرب من ٩٠ في المئة من الكهرباء المتولدة من الطاقة النووية وتقود العالم في تكنولوجيا توليد الطاقة النووية – تثبت أن الطاقة النووية هي البديل الاقتصادي لمحطات توليد الطاقة من الوقود الأحفوري.[10]