بسم الله الرحمن الرحيم

جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

كلية الدراسات العليا

قسم الفيزياء

استعراض ادبيات اضرار التفاعلات النووية

Reviewing Nuclear Interactions Damages

بحث تكميلي لنيل درجة الماجستير في الفيزياء

اعداد الطالب:

محمد احمد محمد احمد

اشراف الدكتور :

احمد الحسن الفكي

نوفمبر 2020م

الآيـة

قال تعالى:

(قُل لَّن يُصِيبَنَا إِلَّا مَا كَتَبَ اللَّهُ لَنَا هُوَ مَوْلَانَا ۚ وَعَلَى اللَّهِ فَلْيَتَوَكَّلِ الْمُؤْمِنُونَ)[51] صدق الله العظيم التوبة

الإهداء

اهدي هذا البحث إلى مثال التفاني والإخلاص..... أبى الحبيب.

وإلى من قدَّمت سعادتي وراحتي على سعادتها... أمي الفاضلة.

وإلى من لم يبخلوا بمساعدتي ..... اخواني واخواتي وأصدقاعي.

وإلى كل من دعا لي بالخير

أهديكم ذلك العمل المتواضع.....

الشكر والعرفان

في البداية الشكر والحمد لله جل في علاه ، فإليه ينسب الفضل كله في إكمال هذا العمل المتواضع (والكمال لله وحده)

وبعد الحمد فإنني أتوجه بشكري إلى جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا ثم الى أستاذي الجليل الدكتور أحمد الحسن الفكي بالشكر والتقدير الذي لن تفيه أي كلمات حقه ، فلولا مثابرتة ودعمه المستمر ما تم هذا العمل ، وبعدها فالشكر موصول لكل أساتذتي الذين تتلمذت على أيديهم في كل مراحل دراستي.

مستخلص البحث :

تناولت الدراسة اضرار التفاعلات النووية الناتجة بكميات كبيرة من المفاعلات النووية والنفايات المشعة ويزداد تراكمها سنوياً ولها اثار سالبة علي البيئة اوضحت الدراسة الطرق المختلفة لجمع ونقل النفايات المشعة وتخزينها والاضرار الناتجة عنها وهدفت الدراسة للمحافظة علي البيئة وخلوها من الاشعاع .وسد النقص المتزايد للطاقة بمصادر تعتمد علي الطاقة النظيفة بدلاً من المفاعلات النووية واستخدام تقنية اكثر فاعلية للتخلص من النفايات وقدمت الدراسة مقترحات لحفظ النفايات بطرق صحيحة ومعالجتها حسب حالتها الفيزيائية الغازية والسائلة والصلبة واوصت الدراسة ببناء التصاميم الهندسية الجيدة واجراء الحسابات الدقيقة وتوفر كوادر بشرية مؤهلة عاملة في مجال الصناعة النووية وذلك لتجنب ماحدث في تشرنبول وبنسلفايا

Abstract

The aims of this stoudy preserving the environment clearing it from radiation and compensating the increasing lack of energy by using sources that depend on the clean energy instead of the nuclear reactors and use more effective technology to dispose the wastes The study was taked about the damages done by the nuclear interactions resulted in an enormous amounts from the nuclear reactors and radiant wastes which increase annually and have a negative impact on the environment The study showed the different ways to collect transport and store the radiant wastes and the damages resulted from them The study raised some proposals to store and prosses the wasts proporly according to their physical status whether it is lequid , solid or gass . The study shwed the good enginering designs, the deicate procedures and the availability of the qualified personnels working in the nuclear power field to avoid what happened pennsylvanian and chernoby

فهرس المحتويات

الرقم	الموضوع	الصفحة
	الآية	أ
	الاهداء	ب
	الشكر والعرفان	ج
	المستخلص	د
	Abstract	ه
	فهرست الموضوعات	و
	الفصل الاول المقدمة	
1.1	تمهيد	1
1.2	مشكلة البحث	4
1.3	أهمية البحث:	4
1.4	اهداف البحث	5
1.5	فرضيات البحث	5
1.6	ادوات البحث:	5
1.7	هيكل البحث	5
1.8	الدراسات السابقة	5
	الفصل الثاني النشاط الاشعاعي	
2.1	المقدمة	7
2.2	العناصر المشعة	8
2.3	معلومات عن الاشعاع	8
2.4	تطبيقات العناصر المشعة واستخداماتها	9
2.5	انواع الاشعاعات	9
2.6	الاشعاع الطبيعي	10
2.7	الاشعاع الاصطناعي	12
	الفصل الثالث المفاعلات النووية	
3.1	تمهيد	13
3.2	تركيب المفاعل النووي	13
3.3	أنواع المفاعلات النووية	14
3.4	مفاعلات الماء العادي	16

3.5	مفاعلات الماء المغلي	16
3.6	مفاعلات الماء المضغوط	17
3.7	مفاعلات الماء الثقيل	17
3.8	مفاعلات التبريد الغازي	18
3.9	مفاعلات الماء والجرافيت	18
3.10	المفاعلات السريعة المولدة أو المنجبة	19
	الفصل الرابع التفاعلات النووية	
4.1	تمهيد	22
4.2	انواع التفاعلات النووية	22
4.3	طاقة التفاعل	26
4.4	المقطع العرضي للتفاعل	27
4.5	إنتاج النظائر المشعة	30
4.6	الأنشطار النووي	31
4.7	التنشيط النتروني	31
4.8	القذف الأيوني	31
4.9	الهرهرة	32
4.10	طاقة الانشطار	32
4.11	طاقة الاندماج	32
	الفصل الخامس النتائج والمناقشة والتوصيات	
5.1	تمهيد	35
5.2	تصنيف النفايات النووية	35
5.3	التخلص من النفايات المشعة العادية	35
5.4	التخلص من نفايات الصنف الاول ونفايات الصنف الثاني	35
5.5	الاتجاه العالمي الحالي للتخلص من النفايات	36
5.6	طرق حفظ النفايات	36
5.7	مخاطر الخزن	37
5.8	المخاطر الصحية لليورانيوم المتنفذ	38
5.9	المخاطر الجسدية	38
5.10	المخاطر الوراثية	38
5.11	حوادث المفاعلات النووية	38
5.12	اجراءات الوقاية	38

5.13	الخلاصة	40
514	التوصيات والمقترحات	41
5.15	المراجع والمصادر	42

فهرس الأشكال

الشكل	الصفحة
(3.1) مفاعل الماء المغلي	17
(4.1) الانشطار النووي	25
(4.2) وصف فراغي للتفاعل يظهر التيار المتدفق	29
(4.3) العلاج بالتقاط النترونات	30

فهرس المعادلات

المعادلة	الصفحه
(2.1) تحويل العناصر الثقيلة الي عناصر اقل استقرارا	7
(4.1) ملاحظة رذرفورد لحدوث تحول في نوع النوى	22
(4.2) ملاحظة Cockcroft and Walton في تحريض تفاعل نووي	22
(4.3) تحويل نظير اليورانيوم تلقائيا الي نظ الثوريوم	23
(4.4) تحويل نظير اليورانيوم تلقائيا الي نظير البروتكتينيوم	23
(4.5) تحويل البريليوم الي عنص الكرون بواسطة قذف جسيمات القا	23
(4.6) تحول الالمونيوم الي نظير الفسفور	24
(4.7) انشطار اليورانيوم	24
(4.8) اندماج ذرات الهيدروجين	24
(4.9) تفاعل انشطاري متسلسل	25

الفصل الاول

المقدمة

(101) تمهيد

تتعرض جميع الكائنات الحية علي قدر ما من الاشعاعات الطبيعية الصادرة من الفضاء الخارجي كالأشعة الكونية والمنبعثة من القشرة الارضية كالذرات النشطة ولقد تعايش الانسان وغيره من الكائنات الحية منذ الخليقة على الرغم من الحقيقة المؤكدة بان الاشعاعات لها تأثير متلف علي المواد البيولوجية والخلايا الحية على الانسان والكائنات الحية الاخرى تتعرض ايضا علي الاشعاع الصادرة عن الوسائل التي ابتكرها الانسان كالأشعة السينية والمفاعلات النووية ومايتبع من انتشار النويدات المشعة وقد يكون هذا التعرض للإشعاعات المنتجة صناعيا مقبولا بالمقارنة بمستوى الإشعاعات الطبيعية ولكنه قد يصل الى مستويات عالية في حالات الحوادث الاشعاعية لهذا السبب من الضرورة يتم دراسة الاثر البيولوجي للإشعاع والاضرار الناتجة عنه وطرق التخلص من النفايات المشعة .

الطاقة النووية تستخدم في الاغراض السلمية مثل استخدام المفاعلات النووية لتوليد الطاقة الكهربائية وانتاج البحوث العلمية، يستخدم في الاغراض الحربية وهو الأسلحة النووية (القنبلة النووية) والتي يطلق عليها أحياناً القنبلة الذرية . وللوقوف علي تفاصيل هذا الموضوع لابد من التطرق إليه بالتفصيل قدر الإمكان.

في عام 1939م أكتشف الإنسان نوعاً جديداً من الوقود يعطي كميات طاقة هائلة أكبر بكثير من الطاقة التي يمكن الحصول عليها من نفس الوزن من أنواع الوقود الاخرى كالفحم والنفط ، وبهذا وضع الإنسان يده علي مصدر جديد للطاقة . ولم يكن هذا الكشف الجديد وليد لحظة ولكنه جاء في سياق تطورات علمية بدأت في أواخر القرن الثامن عشر عندما اكتشف رونتجن الأشعة السينية في عام 1894م ، تم أوضحت بعد ذلك ابحاث مدام كوري وزوجها بيير كوري أن النشاط الإشعاعي لليورانيوم سببه عدم استقرار نواة ذرته مما يؤدي إلي انطلاق بعض جسيماتها مصحوبة بطاقة حركية كبيرة نوعاً ما وذلك من خلال عدة مراحل متتابعة حتى تصل

إلي حالة مستقرة ، وقد حفز ذلك علماء الفيزياء النووية والكيمياء النووية علي دراسة نواة الذرة وكشف بعض أسرارها ، فتبين أن التفاعلات الكيميائية العادية تحدث بين إلكترونات الذرات ولا تمس النواة علي الإطلاق ، ولكن هناك تفاعلات تحدث نتيجة للتغيرات في النواة نفسها وتنطلق منها طاقة كبيرة جداً قياساً بتلك الطاقة التي تنطلق من المصادر الاخرى التقليدية للطاقة بشكل متميز يلفت النظر .

بعد ذلك تسارعت الأبحاث في هذا المجال الجديد حتى توصلت إلي إمكانية استخدام أحد التفاعلات النووية التي تحدث في نواه ذرة اليورانيوم كونه مصدراً للطاقة الحرارية، وسمي هذا النوع من التفاعل بالتفاعل الانشطاري أو الانشطار النووي (Nuclear Fission) وكان أول من توصل إلي اكتشاف هذا التفاعل الانشطاري عالمان ألمانيان عام 1938م ، وعلي الفور التقط هذا الاكتشاف فريق من الباحثين من جامعة شيكاغو الامريكية بقيادة أنريكو فيرمي (Fermi) وتابعوه حتى تمكنوا من وضعه موضع التطبيق بتصميم أول مفاعل نووي تجريبي وتشغيله باستخدام اليورانيوم كونه وقوداً لإنتاج الطاقة الحرارية في عام 1939م ، ومنذ ذلك الحين أصبح موضوع الطاقة المتولدة عن اليورانيوم موضع اهتمام كبير لدى الباحثين .

والتفاعل الانشطاري باختصار هو انطلاق النواة القابلة للانشطار إلي نواتين أصغر من الأصلية مع تحول جزء ضئيل من مادة النواة الأصلية إلي طاقة وذلك حسب معادلة إنشتاين الخاصة بالعلاقة بين الطاقة والكتلة التي تنص علي أن الطاقة تتساوي الكتلة مضروبة في مربع سرعة الطاقة ($E= mc^2$) ، وبهذا نجد أن انشطار كيلو جرام واحد من اليورانيوم يعادل حرق 2200طن من الفحم الحجري أو حرق 1600 طن من البترول .

وعلى الرغم من أن اليورانيوم هو المادة الوحيدة في الطبيعة التي يمكن الحصول منها علي الطاقة النووية الانشطارية ، إلا أن هنالك نوعيات أخرى من الوقود النووي التي يمكن الحصول عليها من المفاعلات النووية مثل البلوتونيوم ، أما المفاعل فهو باختصار التجهيز التكنولوجي الذي يتم فيه استخراج الطاقة النووية من الانشطار علي هيئة طاقة حرارية تستخدم في توليد الطاقة الكهربائية عن طريق التوربينات

والمولدات الكهربائية ، ولقد ظلت هذه الأبحاث سرية لمدة سنوات ولم يعلن عنها إلا بعد عام 1945م .

إن التركيب الذري للمادة يقول لنا أن أيً مادة في الكون هي إما عنصر أو مركب، فالعنصر يتكون من ذرات ذات هوية واحدة خاصة بهذا العنصر (تحتمل صفات العنصر)، وهي تختلف عن هوية أي عنصر آخر . أما المركب فهو يتكون من جزيئيات متشابهة وكل جزئي بدوره يتكون من التحام عدة ذرات مختلفة أثنين أو اكثر ، لعناصر مختلفة (و الجزئية تحمل صفات المركب) ، التفاعلات النووية هي التفاعلات التي تمس نواة الذرة و تؤدي إلي تغيرات فيها وتقوم بها الجسيمات النووية ، لذلك اعطيت صفة النووية ، وتخضع هذه التفاعلات الي قانون بقاء المادة والطاقة من خلال تحويل الطاقة والكتلة إلي بعضهما .

وهنالك عدة أنواع من التفاعلات النووية فمثلاً منها التفاعل الانشطاري ، وهو انشطار نواة ذرة مادة الوقود النووي بفعل قذفها بنيوترون خارجي لكي تعطي نواتين مجموع كتلتيهما أقل من كتلة نواة الذرة المنشطرة ويتحول فرق الكتلة إلي طاقة حرارية وطاقة إشعاعية ، وسنطلق علي هذا التفاعل النووي تعبيراً مجازياً وهو الاحتراق النووي ، ولكن هذا التفاعل لا يجري من تلقاء نفسه في الوقود النووي إلا نادراً جداً بفعل نيوترون شارد وإذا حدث فإنه يحدث إلي نواة واحدة كل عدة سنوات وليكون مجدياً لابد لنا من إمداد الوقود النووي بالمنشط الذي يجعل التفاعل يبدأ أولاً وفي نفس الوقت تهيئة الظروف لكي يكون التفاعل متسلسلاً ، وفي نفس الوقت أيضا إيجاد وسيلة للتحكم في مقدار التفاعل بحيث يمكن زيادة معدله أو إبطاؤه أو وقفه تماماً حسب الرغبة ، وهذا ما يتم في المفاعل النووي ، الذي هو عبارة عن تجهيز معين ومعه مصدر للنيوترونات التي تنطلق لتحدث انشطار في نوي مادة الوقود ويؤدي هذا إلي الانشطار الذي يؤدي أخيراً إلي انطلاق مزيد من النيوترونات فتحدث انشطارات جديدة في نوي أخرى ينتج عنها نيوترونات أخرى تؤدي إلي مزيد من الانشطار . وهكذا يصبح التفاعل متسلسلاً وعلماً أن اليورانيوم هو العنصر الوحيد الذي يوجد في الطبيعة الذي له قابلية الانشطار [1]

عندما يحترق جزء هيدروجين أو كربون فالطاقة المحررة تساوي بضعة الكترون – فولت . وبالمغايرة، فالطاقة المحررة من جزء انشطار نووي تساوي عدة ملايين الكترون – فولت لكل ذرة – وعلي وحدة كتله ، فأن الطاقة المحررة لوقود انشطار اليورانيوم تساوي تقريباً 3 ملايين مقابلتها من الفحم . وعلي أساس وحدة التكلفة ، يظل اليورانيوم أفضل من الفحم بحوالي 400 مرة أما مخزون الأرض من المواد المنشطرة فيبدو أنه مقابل لمخزونها من الوقود اللاحفوري . وقد ازداد عدد المنشات النووية بسرعة بالغة ، فعندما تنقسم انوية ثقيلة في عملية الانشطار فإن حوالي 0.1% من الكلفة الأساسية تتحول إلي طاقة . في عملية اندماج (نظائر هيدروجين) لتكوين ذرة الهيليوم ، فان حوالي 0.6%من الكلفة الاساسية تتحول الي طاقة. بما أن جزءا معقولا (0.015%) من الهيدروجين يوجد بشكل ديتيريوم (هيدروجين ثقيل) .

إن احد أسباب تقبل الطاقة الكهربائية هو أنها عالية التنظيم ، وبذلك يمكن تحويلها من شكل إلي آخر بفعالية جيدة . لكن عادة لا يمكن تخزينها لذلك تولد عند الحاجة. معظم الطاقة الكهربائية لا تزال تولد بنفس طريقة اديسون التي استعملها في أول محطة مركزية عام 1882م. يستعمل الوقود الاحفوري للحصول علي حرارة من تحويل الماء إلي بخار ليدير مكائن ميكانيكية تدير بالتالي ملفات كهربائية عبر مجال مغناطيسي لتوليد فولتية أو تيار .ومنشأ نووي يختلف عن ذلك في أن الحرارة تحصل عن طريق تفاعل نووي . وفي منشأ كهرومائي يساق المولد الكهربائي بتوربين مائي بدلا من توربين بخاري

(1.2) مشكلة البحث

يتناول هذا البحث مشكلة الاضرار الناجمة عن الاشعاعات النووية المنبعثة من المواد المشعة والمفاعلات النووية والاثار التي تسببها للمحيط الحيوي كالنباتات والحيوانات والانسان

(1.3)أهمية البحث:

تكمن اهمية البحث في الاتي:

هذا البحث مهمة في إدارة المخاطر التي تسببها المفاعلات النووية المشعة يفيد المختصين في برامج حماية البيئة من المخاطر التي تنتج من انفجار المفاعلات النووية وكيفية الوقاية منها.

(1.4)اهداف البحث :

تهدف البحث في الاتي:-

التعرف علي الاضرار الناجمة عن المفاعلات النووية ومدى تأثيرها علي الكائن الحي والتعرف علي انواع المفاعلات النووية و التعرف علي طرق التخلص من المواد المشعة وتخزينها وحفظها بطرق سلمية

(1.5) فرضيات البحث:

تتضمن فرضية البحث على ان للإنسان دوراً فعال في زيادة نسبة الاشعاعات النووية مع تطور وزيادة المفاعلات النووية والاسلحة النووية والاجهزة الطبية والصناعات المختلفة ومحطات توليد الطاقة

(1.6) ادوات البحث:

يستخلص هذا البحث من المصادر العلمية والمراجع.

(1.7) هيكل البحث:

يتضمن هذا البحث خمسة فصول

الفصل الاول ويحتوي على خطة البحث ،الفصل الثاني ويحتوي على النشاط الإشعاعي والمواد المشعة، الفصل الثالث ويحتوي على المفاعلات النووية ، الفصل الرابع ويحتوي على التفاعلات النووية ،الفصل الخامس ويحتوي على أضرار المفاعلات النووية والخاتمة والدراسات السابقة والمصادر والمراجع.

(1.8) الدراسات السابقة :

هناك عدد من الدراسات حول التفاعلات النووية واضرارها منها

سامي عمر الفادني بحث تكميلي لنيل درجة الماجستير بعنوان مخاطر المفاعلات النووية –دراسة نظرية

تناولت دراسة سامي مخاطر المفاعلات النووية كمية كبيرة من النفايات عالية الاشعاعاوضحت دراسته الطرق المختلفة لجمع ونقل ومعالجة النفايات وتخزينها والاضرار الناتجة عنها وهدفت دراسته على المحافظة على البيئة وخلوها من الاشعاع افترضت دراسة سامي على حفظ النفايات بطرق صحيحة ومعالجتها حسب حالتها الفيزيائية الغازية والسائلة والصلبة واوصى ببناء تصاميم هندسية جيدة {3}،

واضا دراسة من سمية صالح محمود صالح بحث تكميلي لنيل درجة الماجستير بعنوان النفاية المشعة واثرها علي البيئة ،بين بعض حوادث المفاعلات النووية التي ادت الي زيادة النفاية المشعة مثل حادثتي مفاعل تشرنبول وثري مايلز ايلاند وتعرضت الدراسة للنفاية المشعة في السودان وتصنيفها حسب الشكل الفيزيائي والنشاط الاشعاعي وكيفية التعامل معها وتخزينها اوضحت الدراسة الطرق المختلفة لجمع ونقل ومعالجة النفاية المشعة وتخزينها والاضرار الناتجة عن ذلك وفي ختام الدراسة الاثار السالبة للنفايات النووية المشعة وبعض القوانين التي سنتها المنظمات الدولية للمحافظة علي البيئة الاحيائية من خطر التلوث الاشعاعي اقترحت الدراسة زيادة الحرص وحددت المناطق الخالية من المياه الجوفية كمخزن للنفايات النووية السودانية [4]،

قام محمد صالح عرجة بحث تكميلي لنيل درجة الماجستير بعنوان طرق التخلص من النفايات المشعة المشكلات والحلول عرف فيه التفاعل النووي وبين انواعه الانشطاري والاندماجي وتتميز طاقة الاندماج بانها مصدر دائم للطاقة اما طاقة الانشطار فهي طاقة مؤقتة ومن ثم بين اجزاء المفاعل النووي .الوقود النووي المستخدم في المفاعلات النووية يصيح نفايات نووية ذات نشاط اشعاعي عالي ينقل الي مستودعات مصممة بصورة تمنع تسرب الاشعاع لاجل طويل يعتمد علي عمر النصف للعناصر المحتواة [2]

وايضا قام كمال ماهر سليمان بحث تكميلي لنيل درجة الماجستير بعنوان المنظومات البيئية كحل واعد لتوليد الطاقة النظيفة الامنة والتخلص من النفايات النووية .استخدام المنظومات البيئية بهدف توليد الطاقة ليست حلا واقعيا مقارنة بالمفاعلات الكلاسيكية من الناحية الاقتصادية وذلك بسبب تشغيل المصنع الذي يستهلك جزء من الطاقة الكهربية التي يولدها المفاعل النووي اضف الي ذلك تكلفة بناء المصنع .غير ان هذه المنظومة تعتبر حل واعد للتخلص من النفايات المشعة وتوليد طاقة نظيفة امنة تحترم البيئة التاثيرات الصناعية النووية

الفصل الثاني

النشاط الإشعاعي

(2.1) مقدمة :

تُعرف ظاهرة النشاط الإشعاعي بأنها ظاهرة تتعلق بذرات العناصر، وتتعلق بقدرتها على الإشعاع، إذ أن كل عنصر يتكون من ذرات، وبعضها يكون قادراً على الإشعاع والبعض لا، وتُسمى العناصر التي تمتلك ذراتها القدرة علي الاشعاع بالعناصر المشعة، ويبلغ عدد المواد التي تمتلك ذرات مشعة حوالي ألفي نوع، ويوجد في الطبيعة منها 55 نوع، حيث تُطلق ذرات هذه المواد أشعة مرئية وغير مرئية، المرئية مثل ضوء البرق وأشعة الشمس وضوء القمر وأشعة الليزر وضوء النجوم وضوء النار، وغيرها، أما عن أنواع الإشعاعات فهي: أشعة ألفا وأشعة بيتا وأشعة غاما والأشعة السينية والأشعة المنبعثة من التجارب النووية.

للحديث عن النشاط الإشعاعي لعنصر ما يجب الحديث عن استقرار نواته. يطلق علي الأنوية غير المستقرة بالأنوية المشعة وتكون ذات نشاط إشعاعي عندما تكون قوي التنافر بين النكليونات (البروتونات) أكبر من قوي التماسك.

بما أن النواة مكونة من بروتونات ونترونات نلاحظ في الجدول الدوري3 حالات:

أ- اذا كان $Z < 20$ $Z > 1$ فالعناصر تكون مستقرة ويكون عدد البروتونات يساوي عدد النترونات أو يقاربه.

ب- اذا كان $Z < 84$ $Z > 20$ النواة تحتوي علي عدد النترونات اكبر من عدد البروتونات فالتنافر بين البروتونات يزداد فيقل استقرار النواة.

ت- اذا كان $Z \geq 84$ الأنوية غير مستقرة (مشعة) لأن عدد النترونات يزداد بكثير إلي درجة عدم وجود عنصر مشع لها بداخل النواة وبالتالي يحدث عدم الاستقرار في+كون ما يسمي بالنشاط الإشعاعي.

مثال:

يتحول العنصر الثقيل إلي عناصر أقل منه وزنا وأكثر استقرار.

$$Th^{232}_{90} \longrightarrow Ra^{228}_{88} + He^{4}_{2} \quad \text{.....(2.1)}$$

عموما يحدث النشاط الإشعاعي عندما:$(A-Z)/Z \geq 1.5$ توجد بعض الذرات المشعة ولكنها لا تحقق العلاقة وذلك لأن هذه العناصر تمثل نظائر أقل من الكوبالت (Co) الصوديوم(Na) والفوسفور(P) (النظائر المشعة)

(2.2) العناصر المشعة :

تُعتبر العناصر المشعة من العناصر الكيميائية التي تُستخدم في كثيرٍ من التطبيقات، وهي عناصر غير مستقرة الحركة، بسبب زيادة عدد النيوترونات والبروتونات في نواتها، لذلك تُعتبر أنوية العناصر المشعة أنوية غير مستقرة، وتُقسم مكوناتها إلى جزيئات حتى تصبح نواة مستقرة، وهذا الانقسام يُصاحبه انبعاثٌ لأشعة: ألفا، بيتا، غاما، ويعود الفضل في اكتشاف العناصر المشعة إلى العالم هنري بكريل، وهو عالم فرنسي قام باكتشاف عنصري الثوريوم واليورانيوم، ومع هذا الاكتشاف الرائع بدأت ثورة اكتشافات العناصر المشعَّة جميعها والتعرُّف عليها، حيث تم اكتشاف المئات من العناصر المشعّة خلال سنواتٍ قليلة بطريقة قذف العناصر غير المشعة باستخدام البروتون أو النيوترون، لتتحول فيما بعد إلى عناصر مشعة لاستخدامها في الزراعة، والحروب والطب.

(2.3) معلومات عن العناصر المشعة:

أول ما تم اكتشافها من الراديوم والبلوتونيوم، ومن ثم اكتشف الزوجان كوري كلاً من الراديوم والبلوتونيوم، وبعدها توالت اكتشافات العناصر الأخرى واكتشف الكثير منها مثل الرادون الذي يُعتبر من العناصر النبيلة. ينتج العنصر المشع الرادون من تحلّل الراديوم، ورغم أنه عنصر نبيل خامل كيميائياً، إلا أنه نشط إشعاعيّاً. جميع نظائر العناصر التي تأتي بعد البزموث، والتي يكون عددها الذري 83 في الجدول الدوري، تُعتبر عناصر طبيعيّة مشعّة من تلقاء نفسها. يوجد العديد من العناصر المشعة التي

يتم تحضيرها صناعيّاً، حيث تكون أنوية هذه العناصر لا تنتج جسيمات ألفا أو بيتا، لكن يُصاحبها انطلاق لإشعاعات غاما. لا يتأثر معدل النشاط الإشعاعي الخاص بهذه العناصر بالظروف الخارجية مثل الحرارة والضغط، لكنه يعتمد على نسبة العنصر المشع الموجود في العينة، وعلى انبعاث جسيمات ألفا وبيتا. العنصر المشع يظل مشعاً مهما اختلفت حالته الفيزيائية سواء كان سائلاً أو صلباً أو غاذيا .

(2.4) تطبيقات العناصر المشعة واستخداماتها:

التطبيقات الصناعية من هذه التطبيقات قياس السمكات، وقياس سويات السوائل، واستخدام أشعة غاما لأغراض التصوير، وتمثل هذه التطبيقات ما يقارب 75% من التطبيقات الصناعية. التطبيقات الطبية للعناصر المشعة تستخدم هذه العناصر في الطب النووي وفي تشخيص كثير من الأمراض وفي تعقيم المعدات الطبية. التطبيقات الزراعية للعناصر المشعة أسهمت في الكشف عن غوامض كثيرة من الوظائف الفيزيولوجية للنباتات، مثل تفسير ماهية التركيب الضوئي أو التمثيل الضوئي، وقد أمكن بفضل هذه العناصر دراسة إمكانية التغذية النباتية بوساطة الأوراق أو المجموعة الخضرية، وزراعة النسج النباتية باستخدام عناصر مشعة مختلفة، مما ساعد على تلافي عوز النباتات بالعناصر المغذية المهمة، كما أمكن تحديد أنسب الأوقات لرش الأسمدة الورقية، واستخدمت في تحديد درجة نفاذية عناصر معينة أو مواد مكتشفة لمعالجة أعراض مرضية غذائية في النبات.

(2.5) أنواع الإشعاعات:

يعبّر لفظ الاشعاع في الفيزياء عن انبعاث أو انتقال الطاقة على شكل أمواج أو جزيئات إما عبر الفراغ أو خلال جسم مادي، وعادة ما يُصنف الإشعاع على أنه مُؤيّن أو غير مُؤيّن وذلك اعتمادًا على مستوى طاقة الجُسيمات المشعة، حيث تحمل الإشعاعات المؤينة 10 فولت أو أكثر وهو ما يتسبب بتأيُّن الذرات والجزيئات ويكسر الروابط الكيميائية في العنصر أو المادة، وبالتالي يتسبب بضرر للكائنات الحية أو

حتى بموتها؛ وذلك عند التعرض الطويل إليها، ومن أمثلة تلك الإشعاعات المؤينة: أشعة ألفا وبيتا وجاما، وهناك اختلافات مميزة في كل من خصائص أشعة ألفا وبيتا وجاما سيتم التطرق إليها في هذا المقال.

(2.6) الإشعاع الطبيعي:

المصادر الطبيعية للإشعاع الطبيعي الذي يتعرض لها الانسان هي
الاشعة الكونية التي تغزو الارض من الفضاء الخارجي والنشاط الاشعاعي في القشرة الارضية مثل البوتاسيوم والروبيديوم ولعناصر المشعة الناتجة من تحلل اليورانيوم 238والثوريوم 232 والاشعاع الطبيعي داخل جسم الانسان الذي يحصل عليها عن طريق الماء والغذاء والهواء [1] ،
من بين 331 نواة طبيعية توجد 284 نواة مستقرة والباقي يشع بإصدار إشعاعات أول عنصر مشع عرف هو اليورانيوم (1896) إذ لوحظ أن أملاح اليورانيوم تصدر إشعاعات بصورة تلقائية.
عندما يشع العنصر يتحول إلي عنصر أخر أقل منه وزنا و أكثر استقرار مع بث جسيمات علي شكل أشعة لا تتأثر بالعوامل الخارجية (الضغط والحرارة) وهي أشعة يمكن التمييز بين هذه الأشعة تجريبيا بإخضاع البث الإشعاعي لحقل كهربائي فنلاحظ:

- انحراف الاشعة نحو الخطب السالب مما يدل علي انها مشحونة مجبة
- انحراف الأشعة نحو القطب الموجب مما يدل علي أنها مشحونة سالبا
- عدم انحراف الأشعة مما يدل علي أنها غير مشحونة.

أ- اشعة الفا α :

عبارة عن نواة ذرة الهيليوم تحتوي على بروتونين ونيترونين
هو إرسال شوارد الهيليوم ذات قوة تأين كبيرة و لكنها أقل اختراقا للحوافز لثقلها وكبر حجمها وهو بث إشعاعي يخص العناصر الثقيلة ذات (A>200)
خصائص أشعة ألفا:

تطلق طاقة ألفا على شكل جزيئات وليس أشعة، حيث تتكون نواة ذرتها من اثنين من البروتونات واثنين من النيترونات، وبالتالي تكون مشحونة بشحنة مضاعفة، ولكن جزيئاتها تمتلك كتلة عالية وسرعة بطيئة نسبيًا مما يجعلها تتفاعل مع المواد بشكل أسرع من جسيمات بيتا أو أشعة غاما، وهذا يجعلها تفقد طاقتها بسرعة، حيث يستطيع أي جسم رقيق مثل طبقة من الورق أو الجلد إيقافها وعدم السماح لها بالنفاذ خلالها، وعلى الرغم من ذلك تستطيع إلى حد ما ترك تأثيرات بيولوجية سيئة على جسم الكائن الحي كما تفعل أنواع الأشعة الأخرى.

ب- اشعاعβ- : β

ذكرنا سابقا أنه في حالة يكون العنصر غير مستقر لارتفاع عدد النترونات نسبيا وهنا تحدث محاولة العنصر تلقائيا إلي تحويل النترونات إلي الكترونات ترسل وبروتونات تحفظ في النواة.

خصائص أشعة بيتا:

تنبعث طاقة بيتا كما طاقة ألفا على شكل جسيمات أو جزيئات، ولكنها مشحونة بشحنة مفردة، حيث تتكون طاقتها من حركة إلكترونات الذرة السريعة مبتعدة عن النواة، وهي أخف وزنًا من جسيمات ألفا وأسرع منها مما يمكنها من اختراق ما سماكته 2 سم من الماء أو حتى اللحم البشري، ويمكن إيقافها بطبقة رقيقة من الألمنيوم.

ج- إشعاع γ **:**

إن بث أشعة يصحبه تهيج كبير في النواة وحتى تعود النواة إلي الحالات الأساسية فإنها تبث إشعاع كهرومغناطيسي بطول موجة صغير جدا هذا الإشعاع الكهرومغناطيسي له خواص الضوء وهو عبارة عن حزمة فوتونات تحمل طاقة كبيرة مثل أشعةX

إن أشعة γ معدومة الكتلة والشحنة فهي لا تغير من الرقم الذريZ) ولا العدد الكتلي (A) ولكنها تنقص الكتلة بقيمة

خصائص أشعة جاما:

وهي تصنف على أنها أشعة مثل: الضوء أو الحرارة، حيث تنتقل الطاقة فيها على شكل موجات دون تحرك جسيماتها، ولكنها تتمتع بقوة اختراق هائلة تمكنها من المرور عبر جسم الإنسان، لذلك عادة يتم استخدام طبقة سميكة من الإسمنت أو الرصاص أو الماء لاحتوائها ومنعها من النفاذ [2]،

(2.7) الاشعاع الاصطناعي:

منذ اكتشاف ظاهرة النشاط الإشعاعي قام الانسان بتحضير مئات من النظائر المشعة صناعيا كما استطاع تسخير الطاقة الذرية في العديد من المجالات الطبية والزراعية الصناعية والعسكرية ومجالات انتاج الطاقة الكهربائية [1]،

نستطيع اجراء تفاعلات نووية لا توجد في الطبيعة (اصطناعية) وذلك بواسطة قذف نواة عنصر مشع بواسطة دقلئق، بروتونات نترونات أو الالكترونات للحصول علي نواة جديدة مشعة اصطناعية غير موجودة في الطبيعة [2] ،

ومن اهم مصادر الاشعاع الصناعي المصادر الطبية وهي من اكبر الصادر التي تتعرض لها الانسان للإشعاع والتفجيرات النووية الناتجة من تجارب الاسلحة النووية التي اجريت على سطح الارض من قبل الدول التي تملك الاسلحة النووية والفاعلات النووية [1]،

الفصل الثالث

المفاعلات النووية

(3.1) تمهيد:

المفاعل النووي هو جهاز الغرض منه السيطرة علي عملية الانشطار النووي المتسلسل والناتج عن وضع كميه من الوقود النووي ثم تعويضها إلي مصدر نيوتروني . عند تعرض ذرة الوقود إلي نيوترونات يحتمل أن تمتص (تقتنص) احد النيوترونات المصطدمة بها ونتيجة الامتصاص نحصل علي نيوترونين أو أكثر لليورانيوم 233 عند اصطدام أحد هذه النيوتورنات الناتجة عن الانشطار بذرة وقود أخرى نحصل أيضاً علي انفلاق جديد وعدد آخر من النيوترونات وباستمرار العملية نحصل علي التفاعل المتسلسل .

والفرض من المفاعل هو السيطرة علي هذا التفاعل ومنعه من أن يصبح ذو طاقات عالية تصهر المواد من حوله وتتلف ما يحيط به [5]،

(3.2) تركيب المفاعل النووي :

يتركب المفاعل بصوره عامة من عدة أجزاء يمكن تفصيلها فيما يلي :

قلب المفاعل :

يسمي الجزء المركزي من المفاعل بالقلب وفي جميع المفاعلات – ماعدا المفاعل المولد – يحتوي قلب المفاعل علي الوقود Fuel والمهدئ النيوتروني Moderator أو المبرد Coolant في حين لا يحتوي المفاعل المولد علي مهدئي .

الوقود في بعض المفاعلات هو يورانيوم طبيعي أو يورانيوم مخصب أو بلوتونيوم أما المهدئ فهو عباره عن مادة تحول النيوترونات السريعة إلي نيوترونات حرارية ، يجب علي المادة المهدئة أن يكون لها مقطع عرضي امتصاص عالي . وأن تكون من المواد الخفيفة .

والتي تحوي عدداً كبيراً من ذرات الهيدروجين وأفضل المهدئات هي الماء العادي والماء الثقيل ، كما تستخدم أيضا بعض المواد مثل الكربون التجاري (الجرافيت) والبويليوم وبعض الخزفيات .

أما المبرد فهو مادة الغرض الأساسي من وجودها هو إمتصاص الحرارة للاستفاده منها وكذلك لمنع تصاعد حرارة القلب [3]

قضبان الوقود :

يتكون الوقود النووي من اليورانيوم 238 ، مع نظير إنشطاري مثل اليورانيوم 235 في صورة قضبان طول كل منها حوالي أربعة أمتار و قطرها سنتمتر واحد .

تنظم قضبان الوقود في حزم . وتتم عملية إعادة شحن للوقود سنوياً بعد إيقاف عمل المفاعل لتغيير حوالي ثلث شحنة الوقود في المفاعل وتغلف القضبان بسبيكة الزركونيوم .

قضبان التحكم :

توجد داخل قلب المفاعل (قضبان التحكم) وهي مواد شديدة القابلية لامتصاص النيوترونات ، مثل البورن والكادميوم ، وهي مغلقة حتى يمكن أن تمر خلال قضبان الوقود النووي للتحكم في عملية الانشطار . وفي بعض المفاعلات تكون قضبان التحكم علي شكل ألواح متقاطعة علي هيئة صلبية ، ويتم إدخالها من أسفل المفاعل .

العواكس :

يزود قلب المفاعل من داخله بعواكس من مواد خصبة مثل اليورانيوم 238 ، لتقوم برد بعض النيوترونات وتجعلها تنعكس إلي قلب المفاعل ومنعها من التسرب خارجه وفضلاً عن ذلك فإنها تتحول إلي مواد إنشطارية مثل البلوتونيوم الذي يمكن استخدامه في أغراض أخرى أغلبها عسكريه [6].

3.3) أنواع المفاعلات النووية :

(3.3.1) مفاعلات البحوث أو المفاعلات التجريبية :

تم بناء أول مفاعل نووي في ظروف سريه جداً في الحرب العالمية الثانية تحت ملعب كرة قدم في جامعة شيكاغو في الولايات المتحدة الأمريكية عام 1942م وتم بناؤه في فترة لم تتجاوز الشهر الواحد واستعملت في بنائه ماده الجرافيت علي شكل قطع تشابه طوابق البناء .

وضعت قطع الجرافيت فوق طبقه علي شكل بناء كروي داخل غلاف خليط من الخشب ووضعت مادة الكادميوم علي شكل الواح داخل الجرافيت لامتصاص النيوترونات الطارئة لضمان عدم بدايتها للتفاعل المتسلسل .

وقد وضعت أيضاً أجهزة قياس الفيض النيوتروني وتقرأ هذه الأجهزة بين فتره إلي أخرى لمراقبة تطور التفاعل النووي .عندما تم وضع الطبقة 57 من الجرافيت كان من الواضح أن الشئ الوحيد الذي يمنع التفاعل من الوصول إلي الحالة الحرجة هو ألواح الكادميوم داخل الجرافيت ، في هذه الحالة كان ارتفاع مصفوفات الجرافيت أكثر من 6أمتار وكذلك عرضها وطولها وكانت تحتوي علي 36طناً من اليورانيوم وأكثر من 340طناً من الجرافيت .

وفي عام 1942م تجمع العلماء والفنيون لملاحظة قراءات الأجهزة بينما أشرف العالم الإيطالي أنريكو فيرمي علي عملية سحب قضبان السيطرة ، وفي ذلك اليوم تم تشغيل أول مفاعل نووي وأول تفاعل نووي متسلسل مستمر في التاريخ .

لانعدام أجهزة السلامة في هذا المفاعل ودروع الوقاية من الإشعاع لم يدم تشغيله طويلاً وتم هدمه في ربيع عام 1943م وقد كان نجاح تشغيله هو النتيجة الحتمية لاكتشاف الانشطار النووي من قبل العالمين الألمانيين هان وشتراسمان والعقلية الفذة التي يمتلكها العالم الإيطالي فيرمي الذي كان من الضحايا الأوائل لقلة المعلومات المتوفرة عن الأضرار الإحيائية للإشعاع إذ لم يدم طويلاً بعد ذلك وتوفي في الخمسينيات نتيجة الجرعة الإشعاعية التي تلقاها (علي ما يعتقد) .

المفاعلات من النوع أعلاه تسمي بالمفاعلات التجريبية أو مفاعلات البحوث وهي تستخدم لأغراض متعددة كدراسة تفاعلات النيوترونات مع المواد المختلفة . وبعض هذه المفاعلات مصممه لدراسة فيزياء المفاعلات بالذات كدراسة الكشافات النيوترونية ودرجات الحرارة وإنتاج البلوتونيوم 239 من اليورانيوم 238 .

من أشهر أنواع مفاعلات البحوث انتشاراً هو مفاعل حوض الماء المكون من قلب من اليورانيوم العالي التخصيب في قعر أو وسط حوض ماء عميق ، للماء في هذا المفاعل أدوار متعددة فهو يعمل كمهدئي ومبرد وعاكس للنيوترونات وكذلك كدرع واقي (لحدما) وعلي عكس الجرافيت فان الماء يسمح للمشاهد بالنظر إلي قلب

المفاعل حتى عندما يكون في دور التشغيل وهذا ليس ممكناً في اي نوع آخر من المفاعلات ولأن بعض أنواع الإشعاع تسير داخل الماء أسرع من الضوء (داخل المادة) فإن الماء يتألق بلون أزرق يسمي إشعاع شرنكوف {7}0

(3.3.2) المفاعلات السلمية لتوليد الكهرباء :

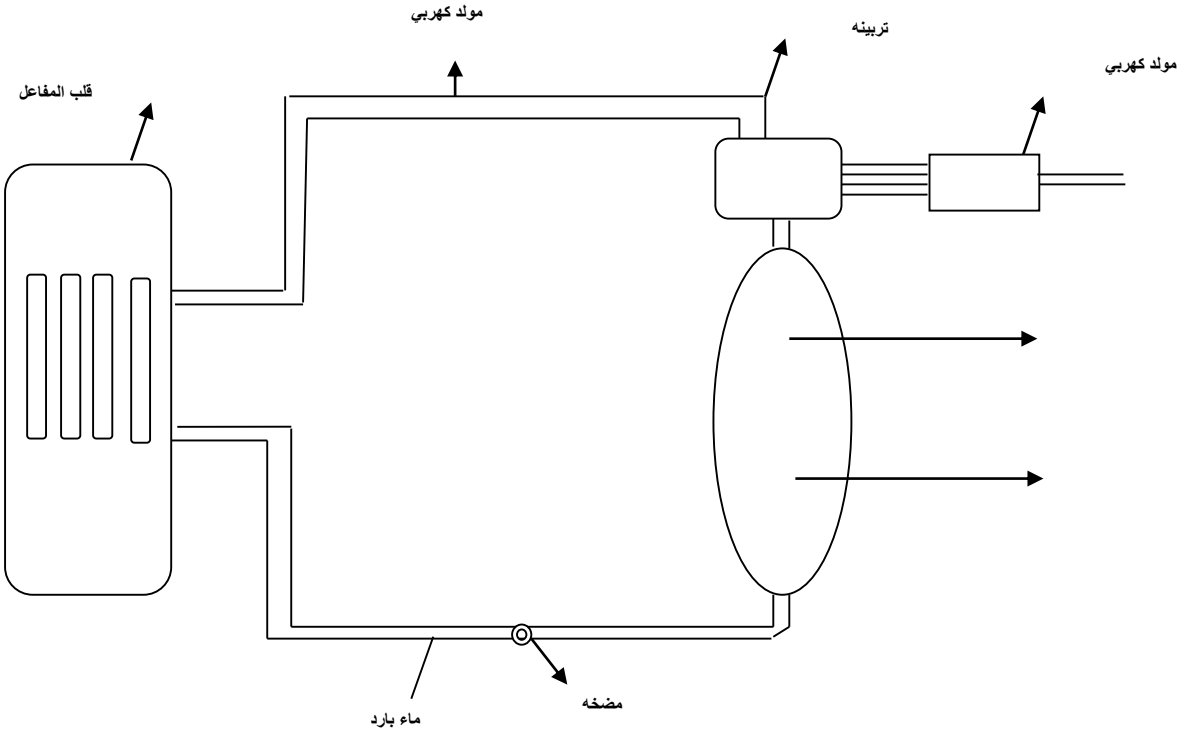
تقدر قدرة المفاعل بالميجا وات حراري ، وهي مقدار الحرارة التي يمكن أن يعطيها المفاعل عند تشغيله باقصى قدره ، أو بالميجاوات الكهربي وهي أقصي قدره للمفاعل علي توليد الكهرباء وهي دائماً أقل من القدرة الحرارية حيث إنه من المستحيل تحويل كل الحرارة التي يعطيها المفاعل إلي كهرباء ، فلابد من فقد جزء من الحرارة أثناء التحويل . وتتنوع المفاعلات كثيراً حسب تصميمها وقدرتها والمواد المستخدمة في مكوناتها ، وسنكتفي بذكر أكثر الأنواع انتشاراً من هذه المفاعلات ، وهي كلها تسمي مفاعلات حرارية لأنها تعتمد علي النيوترونات البطيئة والتي تسمي النيوترونات الحرارية في إحداث التفاعل الانشطاري .

(3.4) مفاعلات الماء العادي :

وهي المفاعلات التي تستخدم الماء العادي كمهدئي ومبرد وناقل للحرارة . ولذلك فوقودها من اليورانيوم المثرى إلي حوالي3% من النظير235 حتى يتغلب علي اقتناص النيوترونات بواسطه النظير 238 ، وتنقسم هذه المفاعلات إلي نوعين حسب دورة الماء في نقل الحرارة إلي التوربينات.

(3.5) مفاعلات الماء المغلي :

وفيها يمر الماء خلال دوره واحده من قلب المفاعل إلي التوربينات حيث يغلي الماء داخل المفاعل، ويخرج بخاراً إلي التوربينات في درجة حراره تبلغ حوالي 283 درجة مئوية وتحت ضغط يعادل حوالي 70 ضعفاً للضغط الجوي وبعد إدارة التوربينات يتكثف ويعود مره أخرى إلي قلب المفاعل وهذه الدوره يجب أن تكون مغلقه تماماً بما فيها التوربينات ، حيث إن الماء يلامس الوقود النووي ويتحمل نواتج الإنشطار المشعة التي يمكن أن تنتقل بدورها إلي التوربينات كل ما يلامسه الماء .



(شكل3.1) مفاعل الماء المغلي

(3.6) مفاعلات الماء المضغوط :

وتوجد فيها دورتان للماء ، الأولى مغلقه تماماً لنقل الحرارة من قلب المفاعل إلي دورة الماء والثانية والتي تنقلها بدورها إلي التوربينات ، ففي الدوره الأولي يظل الماء سائلاً خلال الدورة كلها ، ويخرج من قلب المفاعل في درجة حراره تبلغ حوالي 325 درجه مئوية وتحت ضغط يبلغ حوالي 150 ضعف الضغط الجوي ليمر من خلال دوره الماء الثانية التي يتم فيها توليد البخار وتوجيهه لإدارة التوربينات ثم تكثيفه وإعادته مرة أخرى إلي بداية هذه الدورة ، ووجود الدورة الثانية التي لا يلامس فيها الماء الوقود النووي يدفع من درجة الأمان الإشعاعي ويمنع انتقال أية نظائر مشعه من قلب المفاعل إلي التوربينات ، ولكن من ناحية أخرى يزيد الضغط وتزيد درجة الحراره في قلب المفاعل عن مفاعلات الماء المغلي و تستخدم مفاعلات الماء المضغوط علي نطاق واسع في محطات الكهرباء.

(3.7) مفاعلات الماء الثقيل :

وهي مفاعلات تستخدم الماء الثقيل الذي يحتوي علي الديوتيريوم بدلاً من الهيدروجين ، كمهدئي ومبرد في دورة أوليه وتستخدم الماء العادي كناقل للحراره ولإدارة التوربينات في دورة ثانويه وهي تشبه مفاعلات الماء المضغوط إلي حد كبير فيما عدا استخدم الماء الثقيل الذي يسمح باستخدام اليورانيوم الطبيعي بدون إثراء وقد تم تطوير هذه المفاعلات في كندا وتعرف باسم الكاندو CANDU وتتميز ببساطتها الفائقه .

(3.8) مفاعلات التبريد الغازي :

وهي مفاعلات وقودها من اليورانيوم الطبيعي ، ويستخدم فيها الجرافيت كمهدئي وثاني أكسيد الكربون كمبرد في دورة أوليه لينقل الحرارة إلي دورة ثانويه لتوليد البخار علي غرار مفاعلات الماء المضغوط ، ويخرج ثاني أكسيد الكربون من قلب المفاعل في درجة حراره 400 درجه مئوية ، وضغط يعادل 70 ضعف الضغط الجوي ، وهذا النوع تم تطويره واستخدامه لأول مره في بريطانيا 1956م وقد تم تطوير نوع آخر من نفس الطراز ولكنه يستخدم يورانيوم مثري إلي 2.3% من النظير 235 كوقود ويسمي المفاعلات المتقدمة المبردة بالغاز .

(3.9) مفاعلات الماء والجرافيت :

وهي مفاعلات تستخدم الجرافيت كمهدئي والماء العادي كمبرد وناقل للحرارة حيث يمر في قلب المفاعل خلال أنابيب تحتوى علي الوقود ، ويخرج في درجة حراره 284 درجه مئوية وضغط يعادل 68 ضعف الضغط الجوي ليدير التوربينات ، ثم يتكثف ويعود ثانية إلي قلب المفاعل . وهذا النوع من المفاعلات تمثل الصورة المطورة من أول مفاعل أنشئ في الاتحاد السوفييتي السابق في عام 1954م بقدره 5 ميجاوات كهربائي ، وقد طورت هذه المفاعلات في الاتحاد السوفييتي إلي أن وصلت قدرتها إلي 1500 ميجاوات كهربائي ، وكان مفاعل تشيرنوبيل من هذا الطراز . ولكن بعد الحادث الشهير أوقف إنشاء اي مفاعلات جديده منه .

(3.10) المفاعلات السريعة المولدة أو المنجبة :

مع العلم أن جزءاً من اليورانيوم 238 الموجود في الوقود النووي يتحول إلي بلوتونيوم يمكن استخلاصه من الوقود المحترق وإعادة الي وقود جديد فهو أفضل من اليورانيوم في ألانشطار، ويمكنه ذلك بواسطة النيوترونات السريعة . وهنا يدور في أذهاننا تساؤل هام : ألا يمكن تحويل جزء أكبر من اليورانيوم 238 إلي بلوتونيوم ؟ او تحويل كل اليورانيوم238 إلي بلوتونيوم وبهذا نكون قد ضاعفنا احتياطي الوقود النووي العالمي بمقدار 140 مره ؟

تم الرد علي هذا السؤال بالإيجابه في يونيو عام 1953م عندما أعلن من نجاح فكره التوليد في المفاعلات والتي تعني إمكانية بناء مفاعل ينتج وقوداً أكثر من مما يستهلك . صحيح أنها فكره غربية ولكنها ممكنه ومعقولة إذا علم أن الوقود المستهلك في هذه المفاعلات هو البلوتونيوم والوقود المنتج هو أيضاً البلوتونيوم ولكنه ناتج من تحويل اليورانيوم 238 بحيث تكون النسبه بين الوقود المنتج إلي الوقود المستهلك أكثر من واحد ، يسمي المفاعل الذي ينتج وقوداً أكثر مما يستهلك بالمفاعل المولد أو المنجب. ولأنه يعتمد في ذلك علي النيوترونات السريعه فوصف أيضاً بأنه مفاعل سريع مولد. وبالرغم من عدم استخدام مثل هذه المفاعلات الآن ،إلا أنها ستكون مفاعلات المستقبل عندما يبدأ اليورانيوم 235 وكذلك البلوتونيوم في النضوب وذلك لتحويل الاحتياطي الهائل من اليورانيوم 238 إلي بلوتونيوم .

والفكرة الاساسية وراء المفاعلات المولدة هي استخدام البلوتونيوم بمفرده أو البلوتوينوم مع نسبه من اليورانيوم 235 كوقود وعدم استخدام مهدئي وفي نفس الوقت وضع بطانة من اليورانيوم الطبيعي أو اليورانيوم المستنفد حول قلب المفاعل بدلاً من العاكس النيوتروني حيث يقتنص اليورانيوم 238 هذه النيوترونات الهاربة من قلب المفاعل و يتحول بذلك إلي بلوتونيوم .

وما زالت أبحاث تنمية وتطوير المفاعلات السريعة المولده تعترضها بعض المشاكل العلميه المنتظر حلها ، ولكنها لا تعتبر مشاكل عاجله أو ملحه لوفرة الوقود النووي في الوقت الحاضر [4].

تشغيل المفاعل النووي وإيقافه:

يتضمن تشغيل المفاعل شحنه بالوقود حتى يقترب من المسرى الحرج ومن ثم إجراء التجارب. وقبل التشغيل يتم فحص نظام السيطرة والأمان ، أجهزة مراقبة الإشعاع ، نظام التكييف الهوائي ونظام الإنذار ونظام التبريد .

يبدأ التشغيل عند مستوى قدره من مرتبة 10-5P والذي يسمي أدني مستوي سيطرة (MCL) ثم يتم وضع عناصر الوقود الواحدة بعد الأخرى ،متى ما يصبح المفاعل حرجاً يبدأ إطلاق القدره بالتزايد التدريجي من المستوي الفيزيائي إلي المستوي التجريبي ثم إلي المستوي العملي.

يتوقف المفاعل لعدة أسباب مثل إعادة تحميل عناصر الوقود ، الصيانات والفحوصات الروتينية أو الأسباب الطارئة يتم أيقاف المفاعل تدريجياً بتقليل الفيض النيوتروني وذلك بإنزال قضبان التحكم ، وتكون قدرة المفاعل عندها P(t) متوافقة مع العلاقة الأسية:

$$P(t) = p_0 e^{-t/T} \quad \ldots\ldots\ldots((3.1))$$

حيث:

P_0 = مستوي القدرة التشغيلي

t = الزمن الذي تصل فيه قدرة المفاعل إلي P(t)

T = زمن وصول القدرة إلي MCL وهو تقريباً 80 S

خصائص المفاعل المثالي:

يمكن إجمال أهم العوامل التي تمكن من صناعة مفاعل مثالي في الآتي :

السلامة التامة :

ونعني بها زيادة درجة الأمان لأقصي درجه ممكنه وزيارة سرعة رد الفعل الإيجابي عند الحوادث الطارئة .

بساطه التصميم :

حيث يؤدي إلي زيادة ما في الأمان وسهوله الصيانة و التشغيل والإيقاف.

الكفاءة العالية :

وهي المقصد الأساسي في بناء المفاعل ، ويتم باختيار أفضل أنواع الوقود ومواد بناء المفاعل.

خفض التكاليف :

يتم ذلك بجعل عمر المفاعل أكبر وبزيادة فترة تواجده ضمن شبكة العمل قبل إعادة شحنه.

ويتم ذلك بجعل تصميمات الأمان جزءاً أساسياً منذ البداية وكذلك اختيار الموقع المناسب [3]0

الفصل الرابع

التفاعلات النووية:

(4.1) تمهيد:

قد يؤدي صدم النواة بجسيمات عالية الطاقة، يتم إنتاجها باستخدام المفاعل أو المسرع أو قد تنتج عن مصدر إشعاعي، إلى حدوث تفاعل نووي. كان رذرفورد أول من قام بمثل هذه التفاعلات النووية عام 1919 مستخدماً جسيمات ألفا الناتجة عن التفكك الإشعاعي. بعض هذه الجسيمات ارتد بشكل مرن elastic عن نوى الدريئة tsrget، وأعطت هذه الظاهرة المعروفة منذ حينها باسم تبعثر رذرفود Rutherford scattering الدليل الأول على وجود النواة الذرية. في تجارب أخرى لاحظ رذفورد حدوث تحول transmuatation في نوع النوى، كما في التفاعل

$$\sigma + 14_N \rightarrow 17_O + p \qquad \ldots\ldots \quad (4.1)$$

تم بناء أول مسرع قادر على تحريض تفاعل نووي 1930 على يد كوكروفت Cockcroft ووالتن Walton، وقد رصدا التفاعل {4}

$$\sigma + 14_{Li} \rightarrow 2 \ \ a \qquad \ldots \ (4.2)$$

(4.2) أنواع التفاعلات النووية: Types of Nuclear Reactions

يمكن تقسيم التفاعلات النووية الى أربعة أقسام وهي:

1 . التحلل النووي التلقائي. Radioactive decomposition

2 . التفاعل النووي غير التلقائي. Nuclear disintegration

3 . الانشطار النووي. Nuclear fission

4 . الاندماج النووي. Nuclear fusion

1 . التحلل النووي التلقائي.

تتحلل أنوية العناصر الثقيلة غير المستقرة تلقائياً إلى أنوية أخف وأكثر استقراراً ، ويصدر عنها دقائق ألفا أو بيتا أو أشعة غاما.

أمثلة:

تحول نظير اليورانيوم تلقائياً إلى نظير الثوريوم وانطلاق دقيقة ألفا:

.....(4.3)

تحول نظير الثوريوم تلقائياً إلى نظير البروتاكتينيوم وانطلاق دقيقة بيتا

.....(4.4)

2 . التفاعل النووي غير التلقائي.

في هذا النوع من التفاعلات تستخدم الجسيمات النووية كقذائف تسلط على أنوية ذرات غير مستقرة فتحولها الى أنوية أكثر استقراراً مطلقة بروتون أو نيوترون.

ومن أمثلة هذا النوع من التفاعلات قذف ذرات البريليوم بجسيمات الفا وينتج بفعل ذلك عنصر الكربون

.....(4.5)

وقد تمكن العلماء من استخدام هذا النوع من التفاعلات النووية لتحضير عناصر ثقيلة من عناصر أخف منها.

ومن الأمثلة على ذلك تحويل الألومنيوم إلى نظير الفسفور.

.....(4.6)

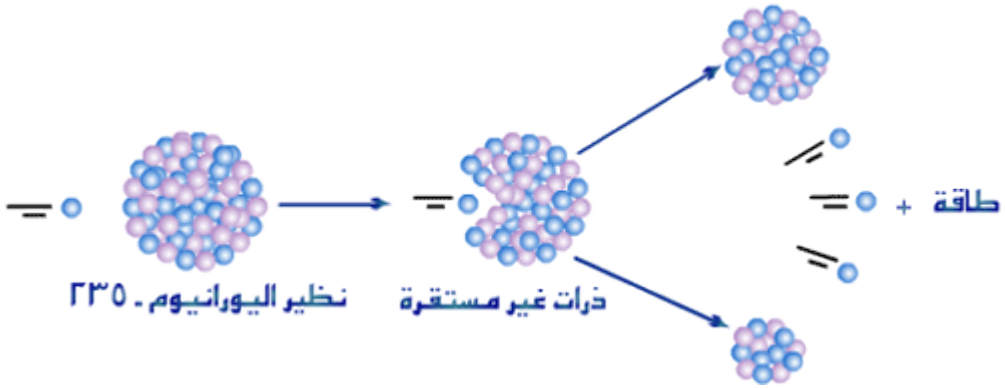
3 . الانشطار النووي.

نظراً لكون النيوترونات أجسام غير مشحونة فهي ذات قدرة عالية على اختراق أنوية العناصر موجبة الشحنة ، ولهذا السبب فهي تستخدم كقذائف يمكن أن تصل إلى النواة بسهولة فتندمج معها أو تشطرها.

وقد قام العلماء بتسليط النيوترونات على ذرات عنصر اليورانيوم (يورانيوم – 235)

واكتشفوا أن ذرة اليورانيوم تنشطر إلى جزأين ، وينتج عن ذلك أيضاً ثلاثة نيوترونات وكمية هائلة من الطاقة.

$$_{92}U^{235} + {}_{0}n^{1} \longrightarrow {}_{56}Ba^{139} + {}_{36}Kr^{94} + 3\,{}_{0}n^{1} \quad \text{.....(4.7)}$$



الشكل(4.1) يوضح الانشطار النووي

4 . الاندماج النووي.

يشتمل هذا التفاعل على اندماج نواتين خفيفتين لانتاج نواة أكبر.

ومثال ذلك اندماج ذرات نظائر الهيدروجين لاعطاء ذرات هيليوم وكمية هائلة من الطاقة.

$$_{1}H^{2} + {}_{1}H^{3} \longrightarrow {}_{2}He^{4} + {}_{0}n^{1} \quad \text{.....(4.8)}$$

ورغم اعطاء هذا التفاعل كمية هائلة من الطاقة ، إلا أنه لا يبدأ إلا اذا زود بطاقة عالية للتغلب على التنافر الشديد بين أنوية الذرات التي ستندمج ، ومثل هذه الطاقة لا يتم توفيرها الا من خلال تفاعل انشطار نووي.[8]

ويعتقد أن هذا التفاعل هو المسؤول عن الطاقة المنبعثه من الشمس .

التفاعل النووي المتسلسل Chain reaction

التفاعل النووي المتسلسل هو تفاعل انشطار نووي ينتج عنه عدد من النيوترونات لها القدرة على تكرار التفاعل .

يتطلب التفاعل النووي المتسلسل نيوترون واحد لبدء تفاعل انشطار أنوية اليورانيوم (235)فينشأ عن هذا التفاعل نواتي عنصرين جديدين ، وينتج أيضاً ثلاثة نيوترونات أو نيوترونين وكمية هائلة من الطاقة.

$$_{92}U^{235} + {}_{0}n^{1} \longrightarrow {}_{56}Ba^{1} + {}_{36}Kr^{94} + 3\,{}_{0}n^{1} \quad \ldots\ldots(4.9)$$

وكل نيوترون له القدرة على أن يكرر التفاعل السابق مع ذرة يورانيوم أخرى بشكل متسلسل والذي يؤدي إلى أعداد هائلة من الانشطارات ، إلى أن تنشطر جميع أنوية اليورانيوم أو أن تفقد النيوترونات القدرة على شطر أنوية اليورانيوم {8}،

يعبر عن التفاعل النووي عادة بالشكل التالي:

$$a + X \rightarrow Y + b$$

حيث a القذيفة المسرعة X projectile النواة الهدف target mucleus و Y و b نواتج التفاعل reaction products وعادة ما يكون Y ناتج ثقيل لا يغادر الدريئة و b جسيم خفيف يمكن كشفه وقياسه.

عموماً يكون a و b عبارة عن نكليونات أو نوى خفيفة، وأحياناً يكون b شعاع غاماً ويدعي التفاعل عندها بالأسر المشع radiative capture أما إذا كان a شعاع غاما فيدعي التفاعل بالمفعول الضوئي النووي muclear photoeffect.

كما يمكن التعبير عن التفاعل السابق بشكل مختزل:

والذي يسمح بتصنيف التفاعلات في فئات ذات صفات مشتركة مثل تفاعلات (a,n) أو (n,y) يتم تصنيف التفاعلات النووية بطرق عديدة يدعي التفاعل بالتبعثر scattering اذا كان x و Y يمثلان النواة ذاتها، وبالتالي a و b الجسيم ذاته ويدعي التبعثر بالمرن elastic اذا كان كل من Y و b في الحالة الأساسية

ground state ويدعي باللامرن inelastic اذا كان Y أو b في حالة مثارة excited state.

في تفاعل الاقتلاع knockout reaction يمثل a و b الجسيم ذاته ولكن التفاعل يؤدي إلى إصدار جسيم آخر بشكل منفصل، حيث تضم الحالة النهائية ثلاثة جسيمات.

في تفاعل الانتقال transfer reaction يتم تبادل نكليون أو أكثر، بين القذيفة والهد، فعلي سبيل المثال ينتج عن الدويترون Deutron القادم بروتون أو نترون، مضيفاص نكليون إلى الهدف x البشكل الناتج Y.

كما يمكن تصنيف التفاعلات النووية وفق الآلية التى تحكم التفاعل، ففي التفاعلات المباشرة direct reactions تشارك فقط بضعة نكليونات في التفاعل بينما تلعب بقية التكليونات في الهدف دور المراقب السلبي. قد تؤدي هذه التفاعلات إلى زرع أو طرد أحد النكليونات في أو من سوية طبقية، وتساعد وبالتالي على استكشاف explore البنية الطبقية للنواة، ويمكن بلوغ العديد من السويات المثارة لـ Y في هذه التفاعلات.

الحالة الحدية الأخرى هي التفاعلات المركبة compound reactions وفيها تتحد القذيفة مع الهدف لفترة تكفي لتوزيع طاقة التفاعل على طافة النكليونات قبل أن يتم قذف جسيم في ما يشبه تبخر جزيء من سائل حار.

بين هاتين الحالتين الحديتين نجد تفاعلات التجاوب resonance reactions والتى تشكل فيها القذيفة مع الهدف حالة شبه مرتبطة quasibound قبل إصدار الجسيم الناتج.

(4.3) طاقة التفاعل:

يؤدي حفظ الطاقة energy conservation الى العلاقة:

$$m_x c^2 + T_x + m_a c^2 + T_a = m_y c^2 + T_a + m_b c^2 + T_b \qquad (2)$$

حيث ترمز T للطاقة الحركية kinetic energy و m للكتلة السكونية rest mass وتعرف قيمة Q للتفاعل على انها الفرق بين الطاقة الكتلية الابتدائية initial mass energy والطاقة الكتلية النهائية final mass energy:

$$Q = \left(m_{\text{نهائي}} - m_{\text{النهائي}}\right)c^2 = m_x + m_a - m_y - m_b\,c^2 \qquad (2)$$

وتكافئ الطاقة الحركية الإضافية لنواتج التفاعل:

$$Q = T_{\text{نهائي}} - T_{\text{النهائي}} = T_y + T_b - T_x - T_a \qquad (3)$$

يمكن أن تكون القيمة Q موجبة، سالبة، أو سفر. اذا كانت Q>0 يدعي التفاعل ناشراً للطاقة exothermic واذا كانت Q<0 ماصاً للطاقة endothermic .

تدل العلاقتان (2) و (3) على انه يتم تحويل كتلة الى طاقة حركية في التفاعلات الناشرة للطاقة، بينما يتم تحويل طاقة حركية إلى كتلة في التفاعلات الماصة للطاقة.

(4.4) المقطع العرضي للتفاعل:

يتناسب معدل حدوث التفاعل النووي reaction rate (R) مع عدد النووي الهدف في واحدة السطوح (N) target nuclei per unit area ومع معدل تدفق القذائف على هذه النوى (1) current of incident particles :

$$R \sim N\ 1 \qquad (4)$$

ويدعي ثابت التناسب بالمقطع العرضي للتفاعل reaction cross section:

$$R = \sigma N\ 1 \qquad (5)$$

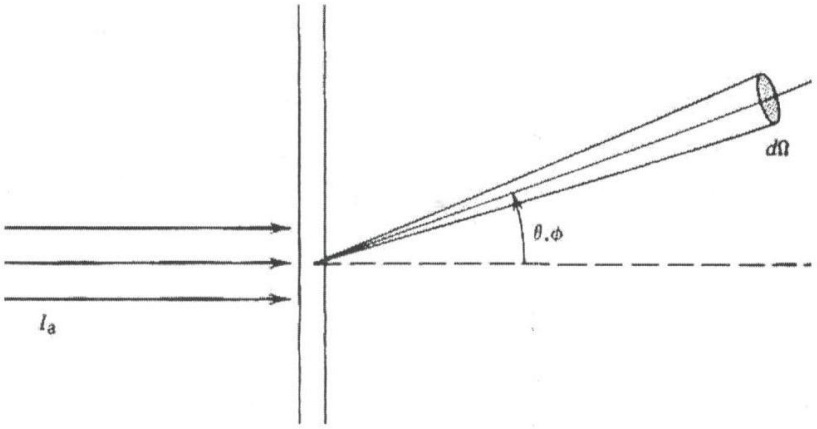
تدل هذه العلاقة على ان المقطع العرض ي للتفاعل يعبر عن مساحة area تتناسب مع احتمال حدوث التفاعل reaction probability واحدة المقطع العرضي هي البارن barn ويعادل مساحة قدرها:

$$1\ b = 100\ fin^2 = 10^{-28} m^2$$

يتم قياس معدل التفاعل عادة باستخدام كاشف يشغل زاوية فراغية solid قدرها ... بالنسبة لموقع التفاعل ويلتقط الجسيمات b الناتجة عن التفاعل، ويقيس هذا الكاشف جزءاً صغيراً من معدل التفاعل dR يتناسب مع الزاوية الفراغية .. ومع التوزع الفراغي angular distribution لنواتج التفاعل .... حيث تحدد الزاويتان ... اتجاه الزاوية الفراغية .. التى يشغلها الكاشف:

$$DR = r(\theta, \varphi) d\Omega / 4_{\pi} \qquad (6)$$

حيث تم استخدام $d\Omega/4_\pi$ لأن التكامل الفراغي solid integral لهذا المقدار يكافئ الواحد.



الشكل(4.2):يوضح وصف فراغي للتفاعل يظهر التيار المتدفق incident beam، الهدف، والتيار الصادر outgoing beam والمتجه إلى الزاوية الفراغية $d\Omega$ عند θ,φ

اشتقاق differentiating العلاقة (5) يؤدي إلى المقطع العرضي التفاضلي differential cross section :

$$\sigma = \int d\Omega \ (d\sigma/d\Omega \qquad (7)$$

والذي يؤدي تكامله الفراغي إلى المقطع العرضي للتفاعل:

$$d\sigma/d\Omega = \ r(\theta,\varphi)/4_\pi 1N \qquad (8)$$

ترتبط الكثير من التطبيقات النووية ليس فقط بزاوية إصدار الجسيم b، ولكن ايضاً بطاقة هذا الجسيم .. مما يدعو إلى تعريف مقطع عرضي تفاصلي مضاعف doubly differential يدل على احتمال ملاحظة observe الجسيم b ضمن الزاوية ... ومجال الطاقة ..

$$d2_\sigma/\ (d\mathrm{E}_b d\Omega \qquad (9)$$

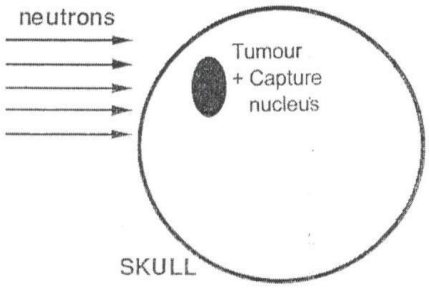
المقطع العرضي للتفاعل هو المقدار الأساسي في تحديد إمكانية الاستفادة من تفاعل نووي معين للحصول على نتيجة مرغوبة معينة. نقارن على سبيل المثال المقاطع

العرضية التالية للتفاعلات النقاط النترونات الحرارية thermal meutrons التى ينتجها المفاعل:

σ	Q	التفاعل
$3838\ bam$	$2.79\ Mev$	$10_B + n_{th} \rightarrow 7_{Li} + a$
$0.33\ bam$	$2.22\ Mev$	$1_H + n_{th} \rightarrow 2_H(2_D)$
$1.8\ bam$	$0.63\ Mev$	$14_H + n_{th} \rightarrow 7_c + p$

جدول(1.4) يوضح مقارنة المقاطع الارضية للتفاعلاتالنووية

يفوق المقطع العرضي لالتقاط نترونات المفاعل باستخدام البورون بمرتبات المقطع العرضي لالتقاطها باستخدام الهيدروجين أو النتروجين أو غيرهما من النوى التي تدخل وبتركيز مرتفع في تركيب النسيج tissues وهذا يبرر استخدام البورون في العلاج بالتقاط النترونات neutron capture therapy (NCT) وهي طريقة علاجية تستخدم في علاج الأورام tumors.يتم حقن injection الورم بالبورون بشكل مباشرة، أو عن عن طريق أحد مركبات البورون التى تتجمع بشكل انتقائي في موضع الورم، ومن ثم يتم تعريض الورم للنترونات الحرارية التى ينتجها المفاعل، وتؤدي الطاقة الناتجة عن تفاعل التقاط البورون للنترون الحراري الى القضاء الورم.



الشكل 2: العلاج بالتقاط النترونات.

(4.3)الشكل يوضح العلاج بالتقاط النترونات

(4.5) إنتاج النظائر المشعة:

إلى جانب النشاط الاشعاعي الطبيعي، يمكن إنتاج نظائر مشعة باستخدام التفاعلات النووية تم ذلك للمرة الأولى عام 1934 على يد إيرين كروي Irene Curie وبيير بولبوت Pierre Joliot واللذان استخداما جسيمات الفا الناتجة عن تفكك البولونيوم Polorium في قذف الألمنيوم، مما أدى إلى إنتاج نظير الفسفور المشع p-30 ذو العمر النصف 2.5 دقيقة، وقد نال كوري ويوليوت جائزة نوبل Nobel في الكيمياء لعام 1935 عن هذا الاكتشاف.

مع تطور المسرعات والمفاعلات النووية أصبح بالإمكان تصنيع أكثر من الف نكليد مشع تتراوح أعمار النصف لها بين أجزاء من ومليارات من السنين يعرض الملحق ج الطرق الروتينية المستخدمة في انتاج بعض النظائر المشعة شائعة الاستخدام.

(4.6) الأنشطار النووي:

يعبر الانشطار النووي عن انقسام النواة الثقيلة إلى شطرين متساويين تقريباً لاحظ مباشر Muclear fission وفريش Frisch عام 1939 أن نواة البورانيوم 236 الناتجة عن النقاط نواة اليورانيوم 235 لنترون غير مستقرة أبداً، وتنشطر إلى جزاين متساويين تقريباً، وتعبير الانشطار مستعار من البيولوجيا حيث يستخدم في وصف انقسام الخلية.

(4.7) التنشيط النتروني:

مضمون التنشيط النتروني امتصاص نترون من مصدر نتروني لتشكيل نكليد أثقل. المفاعل النووي هو مصدر النترون الأكثر شيوعاً حيث تصدر النترونات عن تفاعل الانشطار . يمكن انتاج الكوبالت 60 بهذه الطريقة بتنشيط ذرات الكوبالت 59 المستقر. ويصبح التنشيط النتروني مشكلة بالنسبة للمفاعل الذي يضم بنيانه مواد كالحديد، الكوبالت، الزنك، والكروم. تصبح هذه المواد مشعة عند امتصاصها للنترونات وتشكل لذلك مصادر إشعاع ثانوية.

(4.8) القذف الأيوني:

مضمون القذف الايوني صدم مادة دريئة مناسبة بجسيمات مشحونة عالية الطاقة. تمتص الدريئة هذه الجسيمات لتصبح نشيطة إشعاعياً. تتضمن مصادر الحزم

الأيوئية السيكلترونات cyclotrons والمسرعات الخطية linear accelerators يمكن إنتاج نظائر مصدرة للبوزترون للاستخدام الطبي كالفلور 18 والأكسجين 15 بهذه الطريقة.

(4.9) الهرهرة:

قد يؤدي صدم الثقيلة بجسيم عالي الطاقة إلى قذف النواة لعدد من الجسيمات الصغيرة إلى جانب إصدار أشعة غاماً بحيث يتبقي نواة أصغر من النواة الأساسية وقد تكون مشعة أو مستقرة تدعي هذه الحادثة بالهرهرة spallation.

(4.10) طاقة الانشطار النووي:

من حيث المبدأ تنشطر أي نواة كانت اذا ما تم إثارتها بما يكفي من الطاقة، ولكن الانشطار يكسب أهمية اقتصادية فقط بالنسبة للنووي الثقيلة، حيث يؤدي إلى تحرير كميات عالية من الطاقة لنأخذ على سبيل المثال الانشطار.

$$235_{\mathrm{U}} + n \rightarrow 93_{Rb} + 141_{Cs} + 2n$$

باستخدام الكتل (235.043924 u) للبورانيوم 235، (92.92172 u) للروبيديوم 93 ، (140.91949 u) للسيزيوم 141، و (1.008665 u) للنترون، نجد أن قيمة Q لهذا الانشطار تؤدي إلى تحرير طاقة تقارب هذا المقدار، بحيث تبلغ الطاقة الوسيطة الناتجة عن انشطار اليورانيوم 235 حوالي 200 Mev.

ترتبط إمكانية استخدام انشطار اليورانيوم 235 في الحصول على الطاقة بخاصة هامة لهذا التفاعل فالاضافة إلى الشطرين التكبيرين الناتجين عن تفاعل الانشطار، يؤدي الانشطار إلى إصدار عدد من النترونات تقوم بدورها بحث تفاعلات انشطار جديدة في ما يدعي بالتفاعل المتسلسل chain reaction.

يمكن التفاعل المتسلسل ان يتم بسرعة وبدون رقابة كما في القنبلة الذرية atomic bomb أو أن يتم بهدوء وتحت مراقبة دقيقة كما في المفاعل النووي.

(4.11) طاقة الاندماج النووي:

يعبر الاندماج النووي nuclear fusion عن انصهار اثنتين من النوى الخفيفة لإعطاء نواة أثقل يدل تعلق طاقة الارتباط النووي بالعدد الكتلي على أن اندماج اثنتين من النوى الخفيفة لإعطاء نواة دون A=56 يؤدي إلى تحرير طاقة.

لاستخدام الاندماج النووي في الحصول على الطاقة عدة ميزات إيجابية بالمقارنة مع الانشطار النووي، فالنوى الخفيفة متوفرة بكثرة ومن السهل الحصول عليها، وعادة ما تكون نواتج تفاعلات الاندماج نوى خفيفة وليست ثقيلة مشعة كما في الانشطار النووي.

ولكن هناك أيضاً ميزة سلبية هامة وهي أن صهر الخفيفة يتطلب التغلب على قوة كزلون التنافرية repulsive Coulomb force بين النوى، بينما لا يواجه الانشطار المحثوث بالنترونات neutron induced fission هذا الحاجز الكولوني Coulomb barrier لنأخذ على سبيل المثال التفاعل:

$$1_H + 1_H \rightarrow 2_H + e^+ \qquad \text{نترينو} \qquad (Q = 1.44\ Mev)$$

حيث يتطلب التغلب على القوة التنافرية بين البروتونين طاقة قدرها حوالي 0.21 Mev أي أنه اذا تم إعطاء البروتونين طاقة حركية إجمالية بهذا المقدار فإن الاندماج يصبح ممكناً، ويعطى طاقة إجمالية قدرها 165. ولكن يتطلب إعطاء ذرة الهيدروجين طاقة إلى درجات حرارة تفوق 10^9 k . درجة الحرارة هذه متوفرة على سبيل المثال في قلب الشمس، حيث يتم احتراق الهيدروجين Hydrogen وصولاً إلى الهاليوم 4:

$$1_H + 1_H \rightarrow 2_H + e^+ \qquad \text{نترينو} \qquad (Q = 1.44\ Mev)$$

$$2_H + 1_H \rightarrow 3_H + \gamma \qquad (Q = 5.49\ Mev)$$

$$3_H + 3_H \rightarrow 4_H + 2\ 1_H\gamma \qquad (Q = 12.86\ Mev)$$

بالطبع ليست كافة طرق التفاعل متساوية في احتمال حدوثها، فعلي سبيل المثال التفاعل:

$$2_H + 2_H \rightarrow 4_{He} + \gamma \qquad (Q = 23.8\ Mev)$$

مستبعد الحدوث، لأن الطاقة الناتجة عن التفاعل تتجاوز أي من الطاقة الضرورية لفصل نترون أو بروتون من الهاليوم 4، مما يجعل التفاعلان التاليان أكثر احتمالاً.

$$2_H + 2_H \rightarrow 3_H + n \qquad (Q = 3.3\ Mev)$$

$$2_H + 3_H \rightarrow 3_H + p \qquad (Q = 4.0\ Mev)$$

تعتمد الطرق المستخدمة في محاولات الحصول على طاقة الاندماج النووي على تسخين الوقود النووي الحراري thermonuclear fuel إلى درجات حرارة من مرتبة 10^8 k مع الحفاظ على كثافة density عالية لفترة كافية من الزمن بما يسمح بحدوث تفاعل الاندماج النووي بمعدل يكفي للحصول على الطاقة المرجوة تؤدي درجة الحرارة المرتفعة هذه إلى تأبين الذرات بحيث يصبح الوقود النووي الحراري عبارة عن خليط ملتهب وكثيف hot and dense mixture من أيونات موجبة والكترونات سالبة، بحيث تكون الشحنة الإجمالية معدومة في أي منطقة صغيرة من هذا الخليط، تدعي مثل هذه الحالة بالبلازما plasma.

أما التفاعل الذي تم اختياره لأسباب فيزيائية وتقنية فهو تفاعل دويتيوم . تريتيوم D- T reaction .

$$2_H + 3_H \rightarrow 4_H + n \qquad (Q = 17.6\ Mev)$$

من مساوئ هذا التفاعل أن النترون يحمل معظم الطاقة الناتجة عن التفاعل، مما يجعل استخلاص هذه الطاقة ليس بالأمر السهل. لا تزال مفاعلات الاندماج غير مجدية اقتصادياً، أي أن الطاقة المستهلكة في تأمين شروط التفاعل المنظم تفوق الطاقة المفيدة الناتجة عن التفاعل [4]

الفصل الخامس

النتائج والمناقشة والتوصيات

(5.1) تمهيد:

تحدث المخاطر نتيجة تسرب المواد المشعة من المستودعات نتيجة تحطم التراكيب الجيولوجية بواسطة المياه الجوفية والبراكين والزلازل والتعرية وفي هذا الفصل تفشي تصنيف النفايات وكيفية التخلص من النفايات بمستوياتها المختلفة وايضا تفشي كيفية الاتجاه العالمي الحالي للتخلص من النفايات المشعة ومخاطر تخزينها وتفشي المخاطر الجسدية والوراثية لليورانيوم المتنفذوايضا تفشي الحوادث النووية .

(5.2) تصنيف النفايات :

تصنف النفايات المشعة حسب مستوي نشاطها الاشعاعي الي ثلاث اصناف هي :

أ/نفايات ذات مستوي اشعاعي عالي

تنتج هذه النفايات من دورات اعادة معالجات الوقود بينما تحتل الاقسام الاخري باقي المصادر

ب/نفايات ذات مستوي اشعاعي متوسط

ج/نفايات ذات مستوي اشعاعي منخفض

(5.3)التخلص من النفايات المشعة العادية :

يتم التخلص من هذا النوع من النفايات عبر الجو او الانهار اوالبحار او المحيطات او مع وسائل الصرف الصحي وذلك لان مستوي اشعاعيتها قليل جداً من نفايات المستوي الاول

(5.4)التخلص من نفايات الصنف الاول ونفايات الصنف الثاني

معالجة النفايات الاشعاعية ذات المستوي العالي والمتوسط تتم وفق حالتها الفيزيائية .

– اذا كانت المخلفات الغازية يتم ترشيحها مع ملاحظة ان المرشح يصبح بعد فترة مشعاً وبالتالي يعامل معاملة النفايات بالصلبة عند تبديله

– اما النفايات السائلة يتم تركيزها بطرق مختلفة اهمها التبادل الايوني والترسيب الكيميائي والتبخير وبهذا يمكن تقليل حجم المخلفات ثم تخلط بالاسمنت علي شكل قوالب وتعامل معاملة الفضلات الصلبة

– النفايات الصلبة تكبس في مكابس خاصة ويقلص حجمها الي العشر او تعرف في مواقد خاصة .

(5.5) الاتجاه العالمي الحالي للتخلص النفايات :

تكون المخلفات المشعة في العالم مستوياً ليست كبيرة ولكن يجب التخلص منها بصورة سليمة وبطريقة تضمن عدم وصولها الي البيئة ولذلك عكف العلماء والمهندسون لايجاد خطط وحلول جزرية لهذه المشكلات

(5.6) طرق حفظ النفايات :

اللجنة العلمية الخاصة بتاثيرات الاشعة الذرية التابعة للامم المتحدة لاتزال غير قادرة علي ايجاد طريقة مثلي للخزن فالخزن علي سطح الارض اوتحتها يحتاج الي مراقبة مستمرة لغرض تقليل حجم النفايات المشعة قدر الامكان بتحويل المواد المشعة السائلة الي صلبة . ويتم الخزن عبر عدة طرق اهمها :

1/ دفن النفايات في الارض :

هنالك طريقة سهلة لابعاد النفايات المشعة الصلبة تتمثل في الارض وذلك يمكن تنفيذه فقط في مناطق ناشفة جداً وقليلة السكان

2/ اغراق النفايات في البحر :

لمكي لا يطرا علي نقاوة البحر أي ضرر وعلي كائناته الحية الي اذي لا يسمح باغراق النفايات المشعة الي من خلال شروط معينة :

1–يجب ان تثبت في حاويات بيتونية او في مواد مشابهة لوقاية التكلات المشعة من التبلل بشكل اكبر .

2–يجب ان يتم اغراق الحاويات بامان وان تصمد هذه الحاويات ضد الضغط

3–يجب ان يبلغ عمق البحر علي الاقل الفي متر

4–يجب اختبار مواءمة مواقع الاغراق تجاه الجريان ونوعية التربة وصيد السمك

3/ تخزين في صخور الملح :

هناك نوع امن لابعاد النفايات المشعة هو التخزين في شكل الملح يصار علي بناء فراغات مقعرة في الملح رخيصة التكاليف نسبياً تظل زمن طويل دون دعامات ان الملح هو لدن تحت ضغوط عالية بحيث ان الشقوق والتصدعات تعلق من ذاتها .

ان خزن النفايات المشعة في الملح يمكن ان يتم في حفر مناجم او في ممرات خالية من الملح .في الحالة الاولي تعمل النفايات الي المنجم عبر نفق ثم تنقل الي مكان التخزين حيث تكدس بعضها فوق بعض .هكذا يتم تخزينها بشكل نهائي ويمكن اعادتها عند الحاجة

(5.7) مخاطر الخزن :

يعتمد تحليل المخاطر الناجمة عن حدوث خلل في احدي طرق الخزن علي عاملين هما احتمالية حدوث الخلل والنتائج المترتبة علي ذلك وتعرف المخاطر بانها حاصل ضرب الاحتمالية في النتائج الي :

المخاطرة = الاحتمالية ×النتائج

ان تكون المخاطرة كبيرة عندما تكون الاحتمالية عالية والنتائج وخيمة او نقل حيث تعد الاحتمالية وتضمحل النتائج وتصنف احتمالية الخلل بالنسبة للخزن

بنظرة واقعية لقضية النفايات النووية تتضح عمق المشكلة التورط بالنفايات المشعة عالية المستوي التي تنتجها مفاعلات القدرة النووية الان للاجيال القادمة ولم يجد الانسان لها الحل الامثل بعد تفاقم عام بعد عام والحل انى وجد فهو حل مؤقت .ان المتحمسين لاستخدام الطاقة النووية يقضون النظر تكاثفها العالية .

تكمن المشكلة في الفرد العادي في امكانية جداعة وحجب المعلومات عنه من قبل المتخصصين فنجد ان محفزو الطاقة النووية يشهدون بالمقارنة التالية ينتج كيلو جرام من اليورانيوم 235 طاقة مقدارها بينما ينتج كيلو جرام من الفحم أي ما يقارب مليوني مرة ولكن مقارنة ما ينتجه كيلو جرام من اليورانيوم مع كيلو جرام من الفحم جهداً وكلفة ونتيجته بغض النظر فالحصول علي كيلو جرام واحد من اليورانيوم نحتاج الي 15 كيلو جرام من اليورانيوم الطبيعي وما ينتجه من تلوث اشعاعي يذيد بملايين المران عما ينتجه كيلو الفحم .

(5.8) المخاطر الصحية لليورانيوم المتنفذ :

التاثيرات الصحية للمواد الغير مشعة تنحصر في سموميتها الكيميائية والمواد المشعة في تاثيرها الاشعاعي فهنالك العديد من الدراسات المتعلقة بتاثير اليورانيوم الطبيعي علي العاملين في مجال الفيزياء النووية كالمفاعلات النووية والمصانع النووية او العاملين في حقول اليورانيوم الخاصية السمية لليورانيوم هي تلف الكلي نتيجة للتعرض الطويل له اذا امتص الجسم كمية فان تاثيرها سيطرح خلا24ساعة والباقي يوزع علي الكلية والعظام والكبد اما تاثيره الاشعاعي فانه يسبب ابيضاض الدم(سرطان الدم) علما بان هذا المرض يحتاج الي سنتين الي خمسه سنوات حتي يظهر بعد التعرض له وهنالك طريقتين يدخل بها اليورانيوم المستفذ جسم الانسان هما التنفس والجهاز الهضمي .

(5.9) المخاطر الجسدية :

تصيب هذه الاضرار الشخص ذاته المعرض للتشيع وتنحصر في جسده وتصيب الخلايا التي تشارك فب الحفاظ علي صحته وكيانه (النخاع الشوكي ،الدم ،الكبد ، الاعصاب الخ) حسب الحمل الاشعاعي و تاثير العضو المصاب ويمكن للضرر ان يظهر موضعياً او يشمل كل الجسم .

(5.10) المخاطر الوراثية:

تصيب وراثة الذين تعرضت عددهم الوراثية الي حمل الاشعاع (مبيض الانثي او الخصية عند الرجال) يمكن هذه الاضرار الظهور لدي الاجيال اللائقة من خلال التغيرات الوراثية المسماة التحولات الوراثية المخزونة في جزء خالص (الحمض النووي) وتضرر حاملات المعلومات الوراثية في لب الخلية من خلال طفرات

(5.11) حوادث المفاعلات النووية :

أ/ حادثة فقدان التبريد

وتحدث عن انكسار مفاجئ للانبوب الرئيسي لتبريد المفاعل فيخرج المبرد المضغوط خروجا مفاجئاً متحولاً الي بخار ربما يسبب كسر وعاء الضغط

ب/ حادثة عدم تجانس التبريد :

تحدث عند اختلاف معدل تبريد قلب المفاعل فتختلف الطاقة الحرارية من منطقة لاخرى الامر الذي يترتب عليه انصهار لقلب المفاعل وانكسار وعاء الضغط .

ج/ حادثة زيادة القدرة المفاجئة التحكم :

عند فقدان السيطرة علي التحكم ترتفع القدرة بطريقة فجائية وسريعة (جزء من الثانية) الي ملايين الاصناف وينتج من ذلك انصهار قلب المفاعل وانكسار وعاء الضغط .

هـ/عدم توافر الرقابة والامان النووي :

وينتج ذلك من القصور في الاجراءات الخاصة بالامان النووي وعدم تغير اجراءات التفتيش اللازمة

و/الاخطاء البشرية :

نتيجة نقص الخبرة والاهمال وعدم انتشار الرعي وثقافة الامان وتنمية روح المسئولية لدي العاملين .

(5.12)اجراعات الوقاية من الاشعاع

التعرض للإشعاع بالنسبة للعاملين في المجالات النووية تحكمه التعليمات الحكومية، وهي تحدد الحدود القصوى للأنواع المختلفة للأشعاعات ، وتهتم احترامها من قبل العاملين، وذلك للحفاظ على سلامتهم أولا وللحفاظ على الآخرين أيضا .

وهناك ثلاثة عوامل لضبط كمية الإشعاع أو الجرعة الاشعاعية التي يتعرض لها شخص من مصدر مشع، ويمكن ضبط كمية التعرض بتطبيق عدة عوامل :

1. **الزمن** :

خفض زمن التعرض يقلل الجرعة المأخوذة، ونسبة الانخفاض تتناسب طرديا مع الزمن،

2 . **المسافة** :

كلما زاد بُعد الشخص عن مصدر الإشعاع كلما قلت الكمية المأخوذة، وطبقا لها تنخفض الكمية المأخوذة عكسيا مع مربع المسافة من المصدر،

3 . **الضروع:**

وتستخدم ضروع تحجب الإشعاع وتمتصها، وتستخدم بالقدر المناسب لخفض كمية الإشعاع خلفها . من أهم المواد المستخدمة لحجب الأشعة هي الرصاص والحديد والخرصانة وبالنسبة لحجب النيوترونات تستخدم البرافين والماء [10] .

(5,13) الخاتمة:

استهدفت هذا البحث دراسة الاضرار الناتجة عن التفاعلات النووية المنبعثة من المواد المشعة والمفاعلات النووية والاثار التي تسببها للإنسان والنبات والحيوان وكذلك التعرف على انواع الاشعاع ومصادرها والتعرف علي المفاعلات النووية وانواعها ومكوناتها وكذلك التعرف على التفاعلات النووية وانواعها واضرار التفاعلات النووية والنفايات النووية المشعة وطرق التخلص منها وادارة برامج الوقاية من اضرار التفاعلات النووية .

(5.14) التوصيات :

من خلال ماتقدم اوصي بالاتي:

1- يجب اختيار الموقع المناسب لبناء المفاعل النووي .
2- يجب تأهيل الكوادر الفنية والتقنية علي أعلي مستوي
3- متابعة ومراجعة عمل المفاعل النووي بصورة دورية .
4- وضع برنامج للوقاية من الاشعاعات النووية بالنسبة للمواطن والعامل .
5- يجب التأكد من كفاءة المفاعل النووي .
6- اجراء ابحاث ودراسات عملية لتقييم الاثار البيئية في المنطقة المحيطة بالمفاعل النووي .
7- التحكم في النفايات النووية .
8- التخلص من النفايات النووية بطريقة آمنة وسليمة .

(5.15) المصادر والمراجع:

[1] ممدوح حامد عطية – دكتورة سحر مصطفي حافظ – المخاطر الاشعاعية . بين البيئة والتشريعات القانونية في الوطن العربي

[2] نبيل نور الدين عبد اللاه مقدمة في الفيزياء النووية– استاذ الفيزياء النووية بكلية العلوم –جامعة سوهاج – 2009 – 2011

[3] عوض وداعة موسي – رسالة ماجستير في الفيزياء – مكتبة كلية علوم – جامعة السودان للعلوم والتكنلوجيا – الخرطوم – 2000م

[4] سامي حداد – مبادي الفيزياء النووية–هيئة الطاقة الذرية بالتعاون مع الوكالة الدولية للطاقة الذرية –منتدي الاسلام والعلم www.IslamSc.com

[5] خضر عبد العباس – غسان هاشم –الطاقة الذرية واستخداماتها –منشورات منظمة الطاقة الذرية العراقية –بغداد 1989م

[6] سعد شعبان – الإشعاع من الذرة وحتي المجرة – مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب(1739) – 2002م

[7] احمد حسن الفكي – رسالة ماجستير في الفيزياء – مكتبة كلية العلوم – جامعة السودان للعلوم والتكنلوجيا – الخرطوم 1999م

[8] منتدى هشام السالمي–منتدى الطب والحياء–منتدى الكيمياء والفيزياء النووية

[9] عبد الحكيم طه قنديل ،النواة والانشطار النووي ،الطبعة الأولي، دار الفكر العربي، القاهرة، 2003م.

[10] Biological shield – United states Nuclear Regulatory commission – 2017 .