جمـــــهـــــورية الـــــــــــــعـــراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جـــــــــــامـــــــعة بابـــــــل
كلية التربية للعلوم الصـــــــــــرفة
قـــــــــسم الفـــــــــــيزياء

الاندماج النووي والانشطار النووي والطاقات المتحررة منهما

بحث مقدم الى كلية التربية للعلوم الصرفة في جامعة بابل كجزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس تربية في علوم الفيزياء

تقدمت بهِ الطالبة

زيزفون عمران عبدالامير

إشراف

د. علي عبيس

1447هـ **2026م**

إقرار المشرف

اشهد بأن أعداد هذا المشروع الموسوم

(الاندماج النووي والانشطار النووي والطاقات المتحررة منهما)

والمعد من قبل الطالبة:

زيزفون عمران عبدالامير

قد تم تحت أشرافي في قسم الفيزياء/ كلية التربية للعلوم الصرفة/ جامعة بابل وهو جزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس في علوم الفيزياء

التوقيع:

اسم المشرف: د. علي عبيس

المرتبة العلمية :

التاريخ : / /2026

الإية الكريمة

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿أَوَلَمْ يَرَ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ السَّمَاوَاتِ وَالأَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنَاهُمَا﴾

صدق الله العظيم

(الانبياء: 30)

الاهداء

الى خير المرسين الذي بعث رحمة للعالمين رسول المؤمنين محمد (ﷺ)

إلى من بـــــها أعلو، وعليها أرتكز، إلى القـــــلب المعطاء

(والدتي الحبيبة)

إلى من شجعني على المثابرة طوال عمري، إلى الرجل الأبرز في حياتي

(والدي العزيز)

إلى من بذلوا جهدًا في مساعدتي وكانوا خيرَ سندٍ

(إخـواني وأخواتي)

إلى أصدقائي وزملائي

إلى كل من ساهم ولو بحرف في حياتي الدراسية

إلى كل هؤلاء: أهدي هذا العمل، الذي أسال الله تعالى أن يتقبله خالصًا.

يسرني عند وضع اللمسات الأخيرة في أعداد هذا البحث بفضل الله وحمده ان أتقدم بفائق الشكر والامتنان الى المشرف على هذا البحث

(د. علي عبيس)

لتوجيهاته اذ كان لجهوده المميزة ومتابعته المستمرة دون ملل، الأثر الكبير في أنجاز هذا البحث فجزاه الله عني خير الجزاء وأسال الله ان يسدد خطاه العلمية والتربوية في حياته المستقبلية.

وكذلك شكري وتقديري الي اساتذتي في كلية التربية للعلوم الصرفة واخص بالذكر اساتذة قسم الفيزياء والى كل من ساندني في اكمال هذا البحث .

فهرس المحتويات

التسلسل	المحتوى	الصفحة
	الاية الكريمة	أ
	الاهداء	ب
	الشكر والتقدير	ت
	فهرس المحتويات	ث
	فهرس الاشكال	ج
	الملخص	ح
1	الفصل الأول مقدمة عامة حول الذرة	12-1
(1-1)	المقدمة	1
(2-1)	الذرة والنواة	3
(1-2-1)	الإلكترون	3
(2-2-1)	البروتون	3
(3-2-1)	النيترون	3
(4-2-1)	العدد الكتلي	4
(5-2-1)	العدد الذري	4
(6-2-1)	النظائر	5
(3-1)	الترابط للنواة	6
(4-1)	الإشعاعات	6
(1-4-1)	الإشعاع المؤين	8
(2-4-1)	الاشعاع غير مؤين	11
2	**الفصل الثاني** **الانشطار النووي**	31-14
(1-2)	الانشطار النووي	14
(2-2)	تفاعلات الانشطار النووي	15
(3-2)	نظرية الإنشطار النووي	16
(4-2)	انشطار اليورانيوم بواسطة النيترونات الحرارية	19
(5-2)	المفاعل النووي	21
(6-2)	مكونات المفاعل النووي	23
(7-2)	مبدأ عمل المفاعل النووي	26
(8-2)	تشغيل المفاعل	27
(9-2)	تصنيف المفاعلات النووية	29
(10-2)	مزايا وعيوب المفاعل النووي	31
3	**الفصل الثالث** **الاندماج النووي والطاقة المتحررة منه**	47-33
(1-3)	الاندماج النووي	33
(2-3)	الية الاندماج النووي	33
(3-3)	تفاعلات الاندماج النووي	35
(4-3)	أنواع الاندماج النووي	36
(5-3)	العوامل التي يعتمد عليها الاندماج النووي	37
(6-3)	كواشف الاثر النووي ناتجة من الانشطار النووي	38
(7-3)	النيوترونات وأشعة γ الناتجة عن الإنشطار النووي	41
(8-3)	الطاقة المتحررة في تفاعلات الاندماج النووي	42
(9-3)	الطاقة المتحررة في تفاعلات الانشطار النووي	43
(10-3)	مقارنة بين الطاقة المتحررة في تفاعلات الاندماج والانشطار النووي	45
	المصادر والمراجع	49

فهرس الاشكال

الشكل	الصفحة
الفصل الأول	
الشكل (1-1) مكونات الذرة	**4**
الشكل (1-2) توضيح العدد الذري، والكتلة الذرية	**5**
الشكل (1-3) طاقة الربط للنواة	**6**
الشكل (1-4) هيكل الذرة	**7**
الشكل (1-5) جسيم الفا	**9**
الشكل (1-6) جسيم بيتا	**9**
الشكل (1-7) مقارنة بين جسيمات ألفا وبيتا وجاما من حيث الامتصاص	**10**
الفصل الثاني	
الشكل (2-1) تفاعل الانشطار النووي لليورانيوم 235 بواسطة النيوترون	**15**
الشكل (2-2) يوضح نواتج الانشطار النووي لليورانيوم U235 بعد امتصاصه[6] النيوترونات	**20**
الشكل (2-3) مكونات المفاعل النووي	**25**
الشكل (2-4) مبدأ عمل المفاعل النووي	**27**
الشكل (2-5) يوضح الشكل الاعتيادي لمولد القدرة النووية فقلب المفاعل (core)	**28**
الفصل الثالث	
الشكل (3-1) اندماج الديوتيريوم مع التريتيوم مكونا الهيليوم-4، وتحرير النيوترون	**35**
الشكل (3-2) الطاقة المتحررة في تفاعلات الاندماج النووي	**43**
الشكل (3-3) الطاقة المتحررة في تفاعلات الانشطار النووي	**45**
الشكل (3-4) يوضح مقارنة بين الطاقة المتحررة في تفاعلات الاندماج والانشطار النووي	**47**

الملخص

يتناول هذا البحث دراسة شاملة لبنية الذرة والنواة والظواهر النووية المرتبطة بهما، مع التركيز على تفاعلات الانشطار والاندماج النووي بوصفهما المصدرين الرئيسيين للطاقة النووية يبدأ البحث بعرض تركيب الذرة، حيث تتكون من نواة تحتوي على بروتونات موجبة الشحنة ونيوترونات متعادلة، وتحيط بها إلكترونات سالبة الشحنة، كما يوضح مفهومي العدد الذري والعدد الكتلي والنظائر، إضافة إلى طبيعة القوى النووية وطاقة الربط التي تحافظ على تماسك النواة.

كما يناقش البحث ظاهرة الإشعاع وأنواعه، حيث يقسم إلى إشعاع مؤين وغير مؤين، مع توضيح خصائص كل نوع وتأثيراته البيئية والصحية، خاصة الإشعاع المؤين الذي قد يؤدي إلى تغيرات خطيرة في الخلايا الحية.

يركز الفصل الثاني على الانشطار النووي، بوصفه عملية انقسام نواة ثقيلة مثل اليورانيوم-235 إلى نوى أخف مصحوبة بانبعاث طاقة كبيرة ونيوترونات، مما يؤدي إلى حدوث تفاعل متسلسل يمكن التحكم به داخل المفاعلات النووية لإنتاج الطاقة الكهربائية كما يتناول البحث مكونات المفاعل النووي، وآلية عمله، وأنواعه، إضافة إلى مزاياه وعيوبه.

أما الفصل الثالث فيتناول الاندماج النووي، وهو عملية اتحاد نوى خفيفة مثل نظائر الهيدروجين لتكوين نوى أثقل مع انطلاق طاقة هائلة تفوق طاقة الانشطار، ويعد هذا التفاعل مصدر الطاقة في الشمس والنجوم كما يناقش شروط حدوث الاندماج، والعوامل المؤثرة فيه، والتحديات التي تواجه تطبيقه عمليًا.

ويختتم البحث بمقارنة بين الانشطار والاندماج النووي من حيث كمية الطاقة المتحررة، وشروط حدوث التفاعل، وإمكانية التحكم، والتأثيرات البيئية، حيث يتبين أن الاندماج يمثل مستقبل الطاقة النظيفة رغم صعوبة تحقيقه، في حين يُستخدم الانشطار حاليًا بشكل واسع في إنتاج الطاقة.

الفصل الاول

مقدمة عامة حول الذرة

(1-1) المقدمة

تتألف جميع المواد من ذرات وتتركز كل كتلة الذرة تقريباً في النواة التي تتألف من بروتونات ذات شحنة كهربية موجبة ونيوترونات متعادلة الشحنة الكهربائية وتدور حول النواة جزيئات ذات شحنة كهربائية سالبة تسمى الإلكترونات، للذرات عدد متساو من البروتونات والإلكترونات وشحنتها الكهربائية متعادلة ويشكل إجمالي عدد البروتونات والنيوترونات كتلة الذرة والتي تسمى عدد الكتلة[1].

بما أن عدد البروتونات مميز في كل عنصر، فإن العنصر وعدد الكتلة يحددان كل نويدة تتشكل النظائر المشعة للعنصر بواسطة نويدات العنصر (أي ذرات تحمل نفس عدد بروتونات) وأعداد مختلفة من النيوترونات ربما تكون هناك نظائر مشعة متعددة للعنصر فالهيدروجين، على سبيل المثال، يحتوي على ثلاثة نظائر مشعة: الهيدروجين -1 (الهيدروجين الشائع) الهيدروجين-2 (الديتوريوم)، الهيدروجين-3 (تريتيوم) على الرغم من أن كثيراً من النويدات مستقرة فإن معظمها ليس مستقراً يتم تحديد الاستقرار بشكل رئيسي من خلال التوازن بين عدد النيوترونات وعدد النيوترونات التي تتألف منها النواة والنواة غير المستقرة التي يكون عدد النيوترونات والبروتونات فيها غير متوازن تكون ذات طاقة زائدة وستتحول تلقائياً إلى شكل أكثر استقراراً بصورة عشوائية من خلال إطلاق الإشعاع تطلق النوى المختلفة هذه الطاقة كجزيئات مختلفة، أي جزئيات ألفا أو بيتا والفوتونات وأشعة جاما والأشعة السينية[2].

يطلق على عملية التحول التلقائي للنوى بالتحلل الإشعاعي ويطلق على النويدة غير المستقرة، التي تتحلل وتطلق إشعاعاً، النويدة المشعة يتم تحديد كافة النويدات المشعة بشكل منفرد من خلال نوع الإشعاع الذي تطلقه وطاقة الإشعاع الخاصة بها وعمرها النصفي يتم التعبير عن النشاط – الذي يُستخدم لقياس كمية النويدات المشعة الموجودة – بعدد عمليات التحلل خلال الثانية ويتم في الغالب تحديد النشاط في عمليات التحلل خلال الثانية باستخدام وحدة القياس الدولية بيكريل (Bq) نسبة إلى هنري بيكريل وهو أول عالِم اكتشف النشاط الإشعاعي: ويساوي البكريل الواحد حالة تحلل واحدة في الثانية ويحدد نشاط نويدة معيّنة العمر النصفي للنويدة المشعة والعمر النصفي هو الزمن الذي يحتاجه العنصر المشع لكي يتحلل إلى نصف قيمته الأولية من

خلال عملية التحلل الإشعاعي ويتراوح العمر النصفي للنويدات المشعة من كسور صغيرة من الثانية إلى ملايين السنوات.

إلى جانب ظاهرة التحلل الإشعاعي، تُعدّ التفاعلات النووية من أهم العمليات التي تحدث داخل النواة الذرية، ومن أبرزها الانشطار النووي يُقصد بالانشطار النووي انقسام نواة ثقيلة غير مستقرة، مثل نواة اليورانيوم-235 أو البلوتونيوم-239، إلى نواتين أو أكثر أخفّ وزنًا، وذلك نتيجة امتصاصها نيوترونًا بطيئًا يصاحب هذا الانقسام انبعاث نيوترونات إضافية وكميات كبيرة من الطاقة، فضلاً عن إشعاعات مختلفة وتكمن خطورة وأهمية الانشطار النووي في كونه قد يؤدي إلى تفاعل متسلسل إذا استُخدمت النيوترونات المنبعثة في إحداث انشطارات جديدة، وهو الأساس الفيزيائي الذي تقوم عليه المفاعلات النووية والقنابل الذرية.

في المقابل، يُعرف الاندماج النووي بأنه عملية اتحاد نواتين خفيفتين أو أكثر لتكوين نواة أثقل وأكثر استقرارًا، كما يحدث في اندماج نظائر الهيدروجين (الديتوريوم والتريتيوم) لتكوين نواة الهيليوم تتطلب هذه العملية درجات حرارة وضغوطًا هائلة للتغلب على قوى التنافر الكهربائي بين النوى الموجبة، ولذلك تحدث طبيعيًا في باطن الشمس والنجوم ويُعد الاندماج النووي مصدر الطاقة الرئيس في الكون، إذ تنتج عنه طاقة تفوق تلك الناتجة عن الانشطار النووي، مع مخلفات إشعاعية أقل نسبيًا، مما جعله محور اهتمام كبير في أبحاث الطاقة المستقبلية.

تعود الطاقات المتحررة في كلٍ من الانشطار والاندماج النووي إلى تحوّل جزء من الكتلة إلى طاقة، وفقًا لمعادلة أينشتاين الشهيرة $E=mc^2$، حيث تمثل m الكتلة المفقودة و c سرعة الضوء ففي الانشطار النووي، يكون مجموع كتل النواتج أقل من كتلة النواة الأصلية، ويظهر الفرق على شكل طاقة حرارية وإشعاعية أما في الاندماج النووي، فإن الطاقة المتحررة تكون أكبر بسبب ازدياد طاقة الربط النووي للنواة الناتجة وتُستثمر هذه الطاقات في مجالات متعددة، مثل إنتاج الكهرباء في المفاعلات النووية، والبحوث الطبية والصناعية، إضافة إلى التطبيقات العسكرية، مما يجعل فهم هذه الظواهر النووية أمرًا بالغ الأهمية علميًا وتطبيقيًا.

(2-1) الذرة والنواة The atom and the nucleus

يتكون العنصر من وحدات متشابهة ومتناهية في الصغر تسمى ذرات وتختلف العناصر باختلاف ذراتها وتتركب ويدور حولها عدد من الالكترونات وتتمركز كتلة nucleus ذرة العنصر من جسم مركزي صغير الحجم يعرف بالنواة الذرة في النواة الصغيرة التي يبلغ نصف قطرها حوالي (1.3×10^{-13} cm) في حين يصل نصف قطر الذرة إلى حوالي (10^{-8}cm)، وتتركب النواة بدورها من نوعين من الجسيمات المتناهية الصغر تعرف بالبروتونات والنيترونات ويطلق على كليهما اسم النيوكلونات[3].

(1-2-1) الإلكترون The electron:

عبارة عن جسيم صغير جدا تبلغ كتلته وهو ساكن ($m_e=9.11\times10^{-28}$g) ويحمل شحنة كهربائية سالبة مقدارها (-1.602×10^{-19}) كولوم.

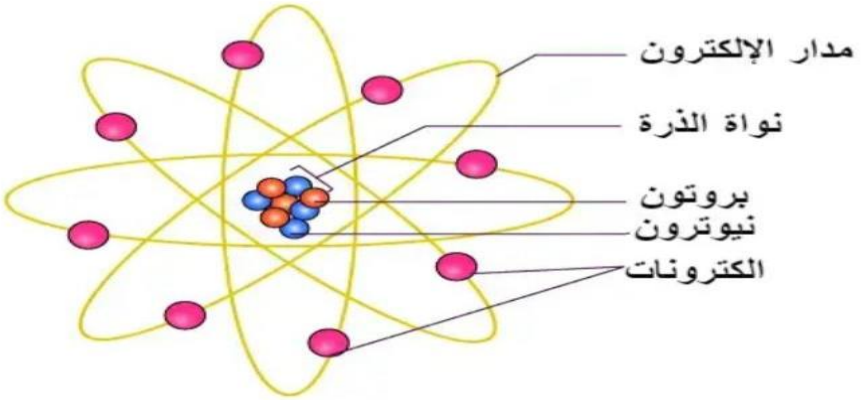
(2-2-1) البروتون The proton:

هو جسيم صغير تبلغ كتلة السكون له 1.67×10^{-24}جم أي انه أكبر من الإلكترون بحوالي 1836 مرة ويحمل شحنة كهربائية مساوية تماما لشحنة الإلكترون ولكنها موجبة (1.602×10^{-19}) كولوم.

(3-2-1) النيترون Neutron:

عبارة عن جسيم متعادل الشحنة (أي لا يحمل شحنة كهربائية) وكتلة السكون له مساوية تقريبا لكتلة البروتون وغالبا ما يعتبر النيوترون الحر (أي خارج النواة) يعيش في المتوسط (2-15) دقيقة ثم يتفكك تلقائيا إلى بروتون و الكترون والذرة متعادلة كهربائيا حيث إن عدد البروتونات الموجبة في النواة يساوي عند الالكترونات السالبة التي تدور حولها مختلفة حول النواة ويتسع كل مدار لعدد معين من الالكترونات فيتسع اقرب مدار Orbits وتدور الالكترونات في مدارات لثمانية الكترونات (L) لإلكترونين في حين يتسع المدار الثاني (K) المعروف بالمدار للنواة ويعرف بالمدار أو القشرة لاثنين وثلاثين الكترونا وهكذا (N) لثمانية عشر الكترونا والرابع والمعروف بالمدار (M) والثالث والمعروف بالمدار ورغم أن المادة (خاصة الصلبة) تبدو مصمتة إلا أنها في الحقيقة تعتبر فراغا ولكن قدرة العين البشرية (وأجهزة التكبير البصرية الحديثة) غير قادرة على تميز هذا الفراغ ولفهم هذه الحقيقة سنفترض جدلا وجود جهاز قادر على تكبير الذرة عشرة ملايين مرة عندئذ سوف يبدو قطر

النواة التي تحمل كل كتلة الذرة تقريبا في حدود 1 سم تقريبا أي في حجم حبة العنب الذي يتسع لإلكترونين فقط على بعد عشرات الكيلو K المتوسطة المستديرة في حين يكون أقرب مدار للنواة المدار متررات من النواة وبذلك تشبه الذرة في تركيبها المجموعة الشمسية حيث تحتل الشمس مركز المجموعة وتدور الكواكب التسع التابعة لها في مدارات يبلغ نصف قطر أصغرها وهو مدار عطارد 58 مليون كم تقريبا بهذا الأسلوب من التشبيه يمكن فهم الذرة كفراغ حقيقي[4].



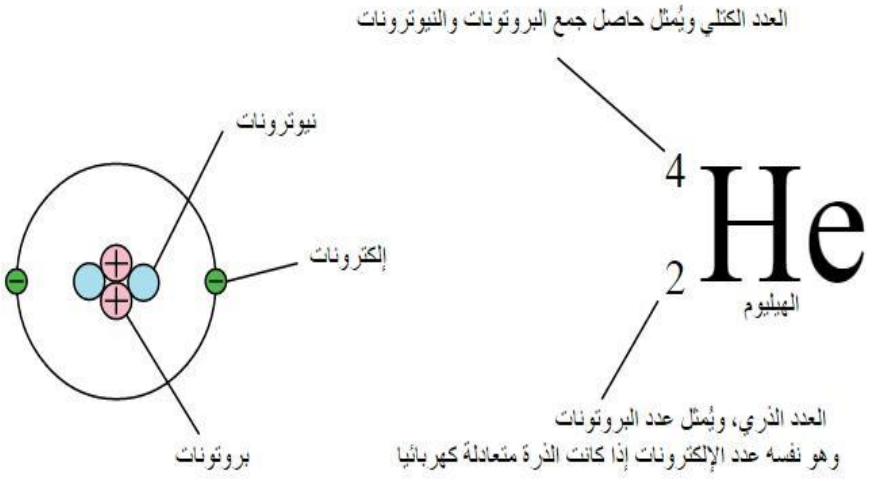
الشكل (1-1) مكونات الذرة[3].

(4-2-1) العدد الكتلي:

العدد الكتلي الذرة هو عبارة عن مجموع عندي البروتونات والنيوترونات في النواة ويبين هذا العدد كتلة لذرة التقريبية وهو عبارة عن عدد صحيح ويرمز له بالحرف A.

(5-2-1) العدد الذري:

هو عبارة عن عدد البروتونات في الذرة المعينة ويرمز له بالرمز من اسمها اللاتيني (أو حرفين أحيانا الأول كبير والثاني صغير) ثم يكتب العدد الذري في الجانب الأيسر الأسفل والعدد حيث أن عددها الذري=1 أما H الكتلي في الجانب الأيسر الأعلى أي انه يرمز على سبيل المثال لذرة الهيدروجين بالرمز حيث إن عددها الذري =2 وعددها الكتلي =4 إذ تتكون نواة الهليوم (جسيم ألفا) من He ذرة الهيلوم فيرمز لها بالرمز حيث إن عددها الذري 92 والكتلي 238 إذ تحتوي نواة 20 برتونين ونيوترونين كذلك يرمز لذرة اليورانيوم بالرمز اليورانيوم على 92 بروتونا و 146 نيوترونا.



الشكل (1-2) توضيح العدد الذري، والكتلة الذرية[3].

(1-2-6) النظائر: The Isotopes

تحتوى نواة العنصر الواحد على نفس العدد من البروتونات إلا أنها يمكن أن تحتوي على أعداد مختلفة من النيوترونات ويعني هذا إن العدد الذري للعنصر الواحد لا يتغير في حين يتغير عدده الكتلي ويقال في هذه الحالة إن للعنصر الواحد عدة نظائر فمثلا للهيدروجين ثلاثة نظائر:

1- هيدروجين $_1{}^1H$ وتتكون نواته من بروتون واحد ولا تحتوي على نيوترونات (A=1, Z=1) و يدور حول النواة الكترون واحد[4]

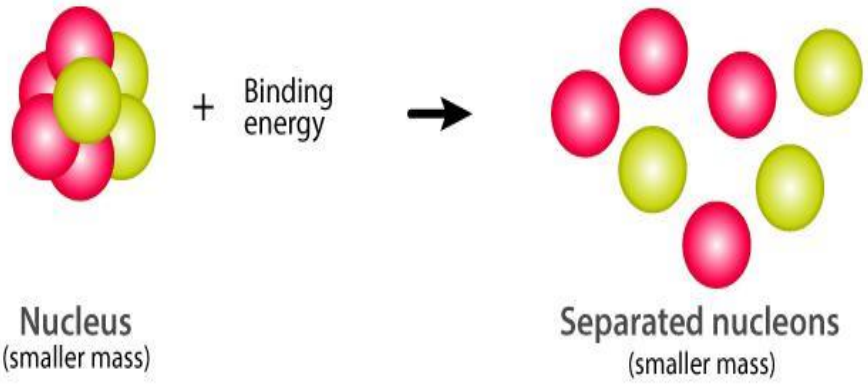
2- دينيرويوم $_1{}^2H$ وتتكون نواته من بروتون و نيوترون (A=2, Z=1) ويدور حول النواة اليكترون واحد.

3- تريليوم $_1{}^3H$ وتتكون نواته من بروتون واحد ونيترونين (A=3, Z=1) ويدور حول النواة اليكترون واحد.

وعموما يوجد لكل عنصر عدد من النظائر قد تصل أحياناً إلى أكثر من خمسين نظيرا للعنصر الواحد وتكون لوى بعض هذه النظائر مستقرة ولا تتفكك في حين تكون نوى النظائر الأخرى قابلة للتفكك وبذلك تكون هذه النوى الأخيرة وتصدر إشعاعات في شكل جسيمات ألفا أو بينا أو إشعاعات جاما ويوجد العنصر في Radioactive نشطة إشعاعيا الطبيعة في شكل خليط من بعض نظائره وهناك نظائر لا توجد عموما في الطبيعة وإنما يمكن إنتاجها صناعيا باستخدام المفاعلات أو المعجلات النووية يمكن فصل النظائر بالطرق وتجدر الإشارة إلى إن نظائر العنصر الواحد تتحد في جميع خواصها الكيميائية لذا فأنه لا الكيميائية، حيث إن العدد الذري للعنصر هو الذي يعدد خواصه الكيميائية وإنما يتم فصله بطرق أخرى[4].

(3-1) الترابط للنواة: Nuclear binding energ

تحتوي نواة الذرة على عدد معين من البروتونات الموجبة الشحنة وتتولد بين هذه البروتونات قوى تنافر كهروساكنة تتناسب عكسيا مع مربع المسافة بين البروتونات ولما كانت المسافات بين البروتونات في النواة صغيرة للغاية فأنه من المتوقع أن تكون قوى التنافر كبيرة للغاية بحيث يجب أن تتفكك النواة بسرعة وحيث أن النواة لا تتفكك إلى مكوناتها من البروتونات فأن هذا يعني أن هناك قوى أخرى جاذبة أقوى من قوة التنافر المذكورة وهذه القوى الجاذبة هي ما يعرف بالقوى النووية وهي تؤثر بين البروتونات والنيوترونات طالما كانت هذه الجسيمات على مسافة صغيرة من بعضها (اقل من 2×10^{-13} سم) وقد ثبت أن القوى النووية بين البروتونات والنيوترونات أو البروتونات متكافئة من الناحية النووية وليس من ناحية الشحنة (Nucleon) يمكن اعتبار كل من البروتون والنيوترون بمثابة جسيم واحد يطلق عليهما اسم نيوكلون[5].



الشكل (1-3) طاقة الربط للنواة[2].

(4-1) الإشعاعات

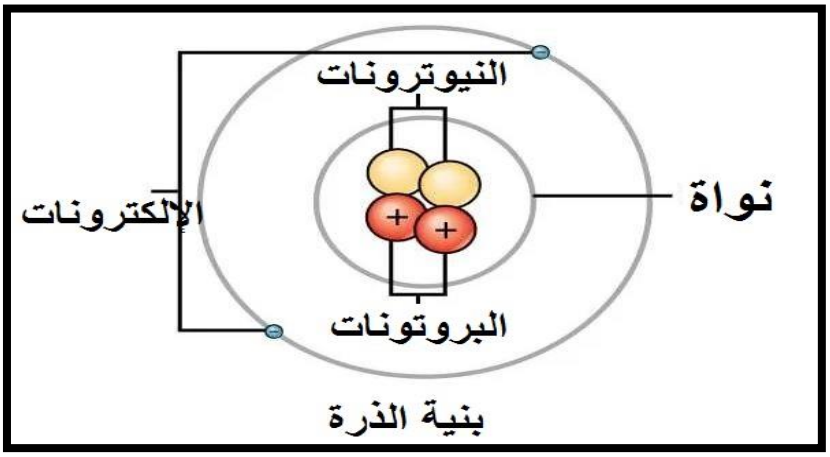
الإشعاعات:- هي عبارة عن ملوثات الجو والتربة والماء كما إنها تؤثر بالسلب على صحة الإنسان وتعمل على تغيير نسب العناصر الأساسية في البيئة كما تعمل على اختلال التوازن البيئي مسببة الكثير من المشاكل للنظام البيئي وكل ما يعيش داخل البيئة.

ومفهوم الإشعاعات هي عبارة عن انبعاث أو امتصاص من طاقة الفوتون وذلك أثناء انتقاله من مستوى إلى مستوى آخر أو امتصاص من طاقة الفوتونات أثناء انتقالها من مستوى إلى آخر سواء كان أعلى منه أو أقل[5].

توجد الإشعاعات في كل جزء من حياتنا. والإشعاعات قد تحدث بطريقة طبيعية في الأرض ويمكن أن تصل إلينا من الإشعاعات القادمة من الفضاء المحيط بنا. وكذلك يمكن أن تحدث الإشعاعات طبيعيا في الماء الذي نشربه أو في التربة وفي مواد البناء (عنصر الرادون من الأرض والعناصر المشعة الموجودة في الأرض).

وقد تحدث الإشعاعات نتيجة صناعتها بواسطة الإنسان مثل الأشعة السينية X-Rays، محطات توليد الكهرباء بالطاقة الذرية أيضا في كاشفات الدخان Ionization Smoke Detector ويعرف الإشعاع بأنه العملية التي ينتج عنها انطلاق طاقة على شكل جسيمات (Particles) أو موجات (Waves) وتقدر الجهات العلمية في الولايات المتحدة الأمريكية بأن الشخص العادي يتلقى جرعات من الإشعاع مقدارها 360 ملي ريم في السنة وتعتبر نسبة التعرض للإشعاعات الطبيعية 80% و 20% الثانية من الإشعاعات الصناعية[4].

تتكون ذرة العنصر من نواة مركزية (Nucleus) تحتوي على بروتونات موجبة الشحنة ونيوترونات متعادلة ويدور حول هذه النواة عدد من الإلكترونات سالبة الشحنة.



الشكل (1-4) هيكل الذرة[2].

ويطلق على عدد البروتونات في النواة اسم العدد الذري (Atomic Number) بينما يطلق على مجموع عدد البروتونات + مجموع النيوترونات اسم الوزن الذري (Atomic Weight) في معظم أنوية العناصر الكيميائية يكون عدد البروتونات داخل النواة مساويا لعدد النيوترونات وفي بعض أنوية بعض العناصر يكون عدد النيوترونات أكبر من عدد البروتونات وتسمي هذه العناصر بالنظائر(Isotope) وهذه النظائر بعضها ثابت لا يتغير تركيبها الذرى بمرور الزمن والعادة تكون لها عدد ذري

منخفض وبعض هذه النظائر غير مستقر وغالبا ما تكون أعدادها الذرية عالية وتسمي بالنظائر المشعة وهذه النظائر سوف تلفظ أنويتها دقائق نووية (أي سوف يصدر عنها إشعاعات نووية) تسمي أشعة ألفا، وأشعة بيتا ، وأشعة جاما وبمرور الوقت تتحول هذه العناصر إلي عناصر أخري أقل وزنا وتختلف في صفاتها الكيميائية والفيزيائية عن العنصر الأصلي.

يواجه الإنسان خطراً كبيرا يتمثل في تعرضه للعناصر المشعة وما تسببه هذه العناصر من مخاطر صحية قد تكون ذات أثر كبير على حياته كما يمكن أن تنعكس على أجياله القادمة ويعتمد الضرر الذي قد يصيب جسم الإنسان من جراء تعرضه للمواد المشعة على عدة عوامل منها[3]:-

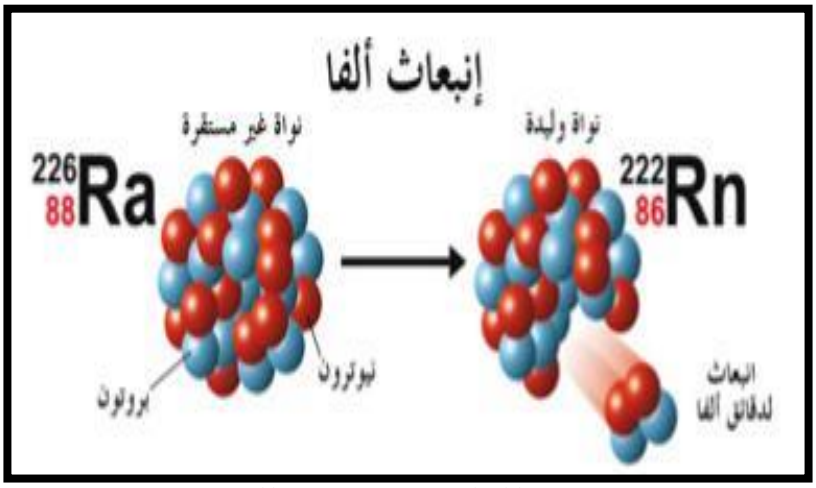
1- الجرعة التي يتعرض لها من هذه المواد المشعة.
2- نوع هذه الإشعاعات.
3- الزمن الذي يتعرض له الجسم لهذه الإشعاعات.

(1-4-1) الإشعاع المؤين

يمكن أن يؤدي الإشعاع المؤين إدخال طاقة إلى خلايا الجسم إلي إحداث تغييرات في التوازن الكيميائي لخلايا الجسم وبعض هذه التغيرات قد يؤدي إلى خلل في السائل الذري للإنسان (DNA) وبالتالي يؤدي إلي تحولات جينية خطيرة قد تنتقل أيضا إلى الأطفال بعد ولادتهم التعرض لكميات كبيرة من الإشعاع قد يؤدي إلى حدوث أمراض خلال ساعات أو أيام وقد يؤدي للوفاة خلال 60 يوما من التعرض حادث قرية ميت حلفا - القليوبية) ، وفي حالات التعرض لكميات كبيرة جدا من الممكن أن تحدث الوفاة خلال ساعات قليلة (تشرنوبل) وأعراض الإصابة بالإشعاع المؤين قد تحدث خلال فترة طويلة، على سبيل المثال في سرطان الدم Leukemia خلال سنتان نتيجة لتراكم المواد المشعة بالجسم معظم المعلومات عن تأثير الإشعاع على الإنسان يتم الحصول عليها من الدراسات التي أجريت علي الناجين من القنابل الذرية التي ألقيت علي ناجازاكي وهيروشيما (حوالي 100.000 شخص)[5].

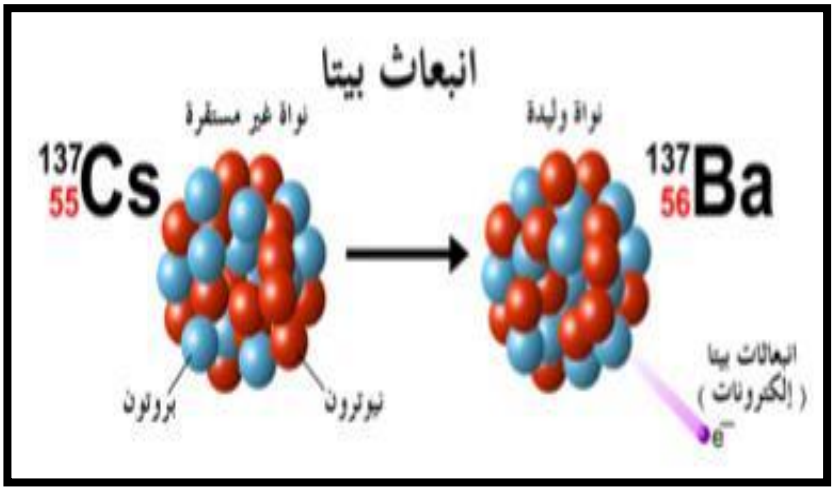
وتوجد ثلاثة أنواع رئيسية من الإشعاع المؤين قد توجد في الإشعاعات التي يصنعها الإنسان كذلك في الإشعاع الطبيعي وهي دقائق ألفا (Alpha Particles) دقائق بيتا (Beta Particles)، وأشعة جاما (Gamma Rays).

1- **دقـائق ألفـا Alpha Particles:** وهـي جسـيمات تشـبه نـواة ذرة الهيليـوم حيـث يحتـوي كـل جسـيم علـى بروتـونين ونيـوترونين وهـذه الجسـيمات لهـا قـدرة ضـعيفة علـى اختـراق الأجسـام الصـلبة لكـن لهـا قـدرة تـأين عاليـة لـذلك فإنهـا يمكـن أن تسبب ضرراً لبعض الأجزاء الحساسة من جسم الكائن الحي[6].



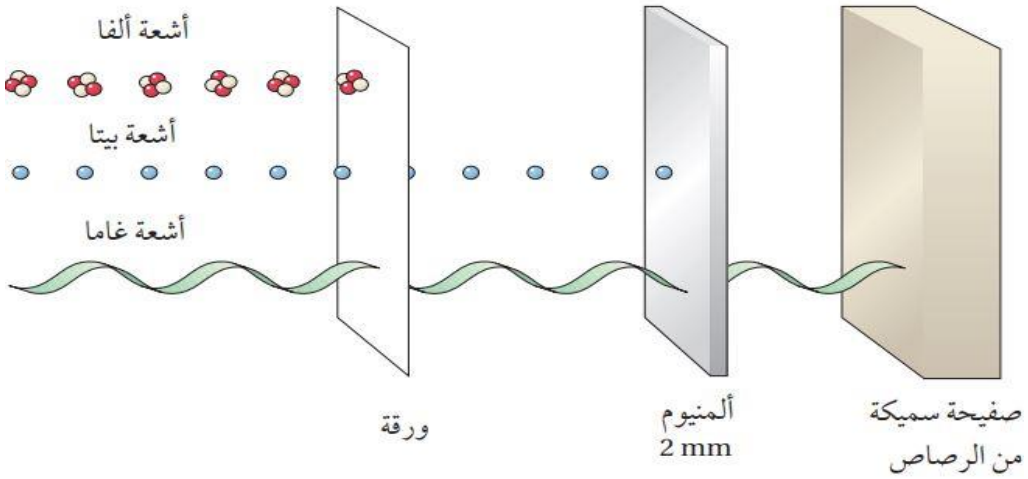
الشكل (1-5) جسيم الفا[3].

2- **دقـائق بيتـا Beta Particles:** وهـي عبـارة عـن جسـيمات تشـبه الإليكترونـات الـبعض منهـا سـالب الشـحنة والـبعض الآخـر يكـون موجـب الشـحنة ولهـذه الجسيمات قدرة متوسطة على اختراق الأجسام الصلبة.



الشكل (1-6) جسيم بيتا[4].

3- **أشـعة جامـا Gamma Rays:** وهـي عبـارة عـن موجـات كهرومغناطيسـية ذات أطـوال موجيـة قصـيرة جـداً كمـا أن لهـا قـدرة عاليـة علـى اختـراق الأجسـام الصـلبة تفـوق قـدرة الأشـعة السـينية وقـد يتسـبب التآكـل الإشـعاعي الـذي يحـدث لعنصـر واحد في انبعاث أكثر من نوع من الإشعاعات المذكورة[5].



الشكل (1-7) مقارنة بين جسيمات ألفا وبيتا وجاما من حيث الامتصاص[2].

الجدول (1-1) المقارنة بين جسيمات ألفا وبيتا وجاما[5]

رمزها التوضيحي	α	β	γ
الشحنة	شحنتها موجبة.	شحنتها موجبة أو سالبة.	ليس لها شحنة محايدة.
سرعة الانتشار	أقل من سرعة الضوء.	أقل بقليل من سرعة الضوء.	تساوي سرعة الضوء.
الكتلة	6.65×10^{-27} Kg	9.10×10^{-31} Kg	0
الحجم	كبير جداً.	صغير نسبياً.	صغيرة للغاية لأنّها عديمة الكتلة.
القدرة على الاختراق	قليلة	معتدلة	مرتفعة
القدرة على التأين	كبيرة	قليلة	قليلة جداً
تأثير المجال المغناطيسي والكهربائي	يظهر انحراف.	يظهر انحراف.	لا يوجد انحراف.
المجال	تقريباً 10 سم في الهواء.	تصل تقريباً إلى متر.	عدة أمتار في الهواء.
تأثير الانبعاث من النواة	يختلف التركيب الكيميائي للعنصر.	يغير التركيب الكيميائي للعنصر.	لا تغيير في التركيب الكيميائي للعنصر.

(1-4-2) الاشعاع غير مؤين

تعرف بأنها مجموعة من الأشعة الكهرومغناطيسية التي لا تستطيع تأيين الذرات أو الجزيئات لعدم امتلاكها طاقة كافية، فهي غير قادرة على إزالة الإلكترونات ولكنها قادرة على جعلها تهتز في مكانها، مما يرفع من درجة حرارة الجسم او تعرف بأنها ذو موجات منخفضة الطاقة والتردد ومرتفعة الطول الموجي، وعادةً ما يفضل استخدام الإشعاع غير المؤين في مختلف التطبيقات لعدم قدرته على التغيير في الذرات والجزيئات والتفاعل معها، ولعدم قدرته على التسبب بالطفرات الوراثية[5].

والاشعاع غير المؤين ليس له القدرة على تأيين الذرات التي يمر خلالها مثل موجات الراديو والتلفزيون وموجات الرادار والموجات الحرارية ذات الأطوال الموجيه القصيرة (ميكروويف) وموجات الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية والضوء العادي وأشعة الليزر[6].

وفيما يأتي أنواع الإشعاع غير المؤين[7]:

1. **إشعاع ذو تردد منخفض للغاية**: ينتج هذا الإشعاع عند تردد يعادل 60 هيرتز، ويمكن أن ينتج عن؛ خطوط الطاقة، والأسلاك الكهربائية، والمعدات الكهربائية، وأفران الحث (ELF).
2. **الترددات الراديوية وإشعاع الميكروويف**: تنتج هذه الإشعاعات عن عدة مصادر، مثل؛ الهواتف المحمولة، إشعاع التردد اللاسلكي، وأجهزة الإرسال اللاسلكي، وعادةً ما يضر التعرض لهذه الإشعاعات الأنسجة عن طريق التسخين.
3. **الأشعة تحت الحمراء**: تنتج هذه الأشعة من عدة مصادر، مثل؛ الأفران، ومصابيح الحرارة، وليزر الأشعة تحت الحمراء، ويمكن أن يتسبب التعرض لهذه الأشعة إلى امتصاصها على شكل حرارة من قبل الجلد والعينين، مما يؤدي إلى الشعور بالحرارة والألم.
4. **إشعاع الضوء المرئي**: ويشمل هذا الإشعاع جميع ترددات الإشعاع الكهرومغناطيسي التي يمكن رؤيتها بالعين المجردة، ويساعد استخدام الإشعاع المرئي في زيادة الإنتاجية لقدرته على منع الحوادث التي قد تحصل نتيجة الإضاءة السيئة، ولكن التعرض لكميات كبيرة من هذا الإشعاع يمكن أن تسبب تلف في الجلد والعينين.

5. **الأشعة فوق البنفسجية**: تنتج هذه الأشعة من عدة مصادر، مثل؛ الشمس، والأضواء السوداء، وعملية اللحام، وأشعة الليزر فوق البنفسجية، وهي من أخطر الأشعة لامتلاكها نطاق طاقة فوتوني[7].
6. **الليزر**: يعد الليزر من الأشعة الخطيرة عند تعريضها للجلد والعينين، وذلك لإصداره كل من؛ الضوء المرئي، والأشعة فوق البنفسجية، والأشعة تحت الحمراء، وتشمل أنواع الليزر؛ ليزر الهليوم – النيون، الليزر النيتروجيني فوق البنفسجي، والليزر المرئي الياقوتي.

الفصل الثاني

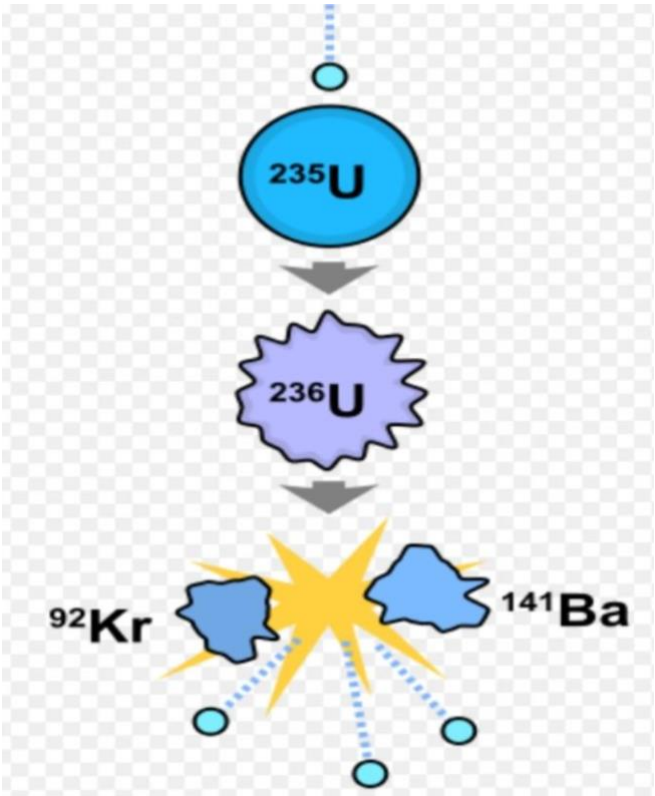
الانشطار النووي

(1-2) الانشطار النووي

عبارة عن تفاعل نووي ناتج عن قصف مادة قابلة للانشطار (اليورانيوم والبلاتونيوم) 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 مهدئ 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[8].

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 2.5 نيوترون 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[9].



الشكل (2-1) تفاعل الانشطار النووي لليورانيوم 235 بواسطة النيوترون[4].

(2-2) تفاعلات الانشطار النووي

كان العالم فيرمي يجري تجاربه للحصول على نظائر العناصر وذلك عن طريق قذف اليورانيوم بالنيوترونات كان يتوقع الحصول على نواة غير مستقرة تبعث بجسيمات بيتا فيزداد العدد الذري من 92 إلى 93 وإنتاج عنصر جديد في الجدول الدوري لكنه لم يستطع التعرف على نواتج التفاعل.

قام العالم الألماني نوداك بقذف عنصر اليورانيوم بالنيوترونات فتعرف على نواتج التفاعل، وأوضح ان نواة اليورانيوم انشطرت الي نواتين متوسطتي الكتلة تعرف بشظيتي الانشطار Fission Fragments وكذلك انتاج كمية هائلة من الطاقة وتم التعرف على الانشطار النووي[8].

يمكن ان تنشطر بعض الأنوية الثقيلة تلقائياً الى نواتين متوسطتين ويعرف هذا الإنشطار بالإنشطار التلقائي Spontaneous Fission

وغالباً ما تكون شظايا الانشطار مختلفة الكتل حيث يمكن ان ينتج العديد منها، ويمكن ان تنتج شظيتان متساويتان الكتلة وفي هذه الحالة يعرف الانشطار بالانشطار المتماثل Fission symmetric وغالباً ما تكون هذه الشظايا في حالات إثارة حيث تبدأ في إطلاق الاشعاع فور تكونها، وهي غالباً ما تكون غنية بالنيوترونات ومن ثم تقوم بإطلاق نيوترونات لحظية وأشعة γ لحظية كما يمكن ان تنطلق جسيمات β.

يمكن تمثيل الإنشطار النووي لليورانيوم بصورة عامة بالمعادلة الآتية[9]:

$$ {}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{236}_{92}U^{*} \rightarrow {}^{141}_{56}Ba + {}^{92}_{36}Kr + 3{}^{1}_{0}n + Q \quad \text{.....(1)} $$

حيث

Q= الطاقة الناتجة عن الإنشطار.

U_{92}^{235}= نواة ذرة اليورانيوم – 235.

Y = شظايا الانشطار.

n^1=عدد النيوترونات.

(3-2) نظرية الإنشطار النووي

ليس هناك نظرية كاملة لتصف الإنشطار النووي ولكن يمكن تفسير الكثير من خصائص هذا الانشطار على ضوء نموذج القطرة السائلة في ضوء نموذج القطرة السائلة نجد أن النواة تأخذ شكلا كروياً عندما تكون في مستوى الاستقرار الأرضي وتأخذ النواة هذا الشكل تحت تأثر قوة التوتر السطحي لها، ولكن قوة التنافر بين البروتونات تحاول احداث تشويه للشكل الكروي للنواة، طاقة النواة الكلية تنقسم إلى هذين التأثيرين أي أن[10]:

$$E = 4\pi R^2 K + \frac{3z^2e^2}{5 \times 4\pi\varepsilon_0 R} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (2)$$

حيث ان:-

K= معامل التوتر السطحي.

ε_0 = سماحية الفراغ.

R= نصف قطر النواة.

Z= عددها الذري.

يمثل الحد الأول في هذه المعادلة طاقة التوتر السطحي أما الحد الثاني فيمثل طاقة التنافر الكهربي مع ملاحظة أننا أضفنا هذا ا المقدار $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ ليعبر عن القوة الكهربية في الفراغ وبالتالي فإن النواة تقع تحت تأثير هذين الحدين حيث تحاول قوة التوتر السطحي أن تحافظ على الشكل الكروي واستقرار النواة اما قوة التنافر الكهربي فتحاول تمزيق النواة، أما اذا أثيرت النواة بإعطائها طاقة عن طريق قذفها بجسيم نووي فإن ذلك يعمل على تشوية شكلها عن الشكل الكروي، ومن ثم تصبح النواة في مستويات إثارة معينة، فاذا كانت النواة متماثلة حول محور معين فان شكلها يمكن ان يوصف بالعلاقة[11]:

$$R = R_0[1 + \alpha_2\gamma_2^2(\theta) + \alpha_4\gamma_4^2(\theta) + \cdots] \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

حيث α_4 و α_2 معاملات التشويه التي تعتمد على درجة تشويه النواة.

R_0: نصف قطر النواة الكروية.

R: نصف قطر النواة المشوهة.

γ: متعددة حدود ليجندر.

في الأنوية الخفيفة نجد أن قوة التنافر الكهربية صغيره حيث تزداد قوة التوتر السطحي والقوة النووية وتصبح النواة كروية الشكل أما في الأنوية الثقيلة جداً فإن كبر حجم النواة يؤدي الى زيادة قوة التنافر الكهربي ومن ثم تستطيع هذه القوة التغلب على قوة التوتر السطحي مما ينتج عنه انقسام أو انشطار النواة.

حيث نجد أن النواة يمكنها ان تنشطر تلقائياً إذا كانت طاقة التوتر السطحي لها أقل من أو تساوي طاقة التنافر الكهربائي.، ويمكن إيجاد الشرط اللازم لذلك كما يلي:

تعطى طاقة التوتر السطحي (E_s) للنواة المشوهه بالعلاقة[12]:

$$E_s \approx E_s^o \left(1 + \frac{2}{3}\alpha_2^2\right) \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (4)$$

حيث E_s^o طاقة التوتر السطحي للنواة الكروية، (α_2^2) معامل التشوه.

أما طاقة التنافر الكهربي E_c فتعطى بالعلاقة:

$$E_c \approx E_c^o \left(1 + \frac{2}{3}\alpha_2^2\right) \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (5)$$

حيث طاقة تنافر النواة الكروية من المعادلتين السابقتين يمكن إيجاد طاقة التشوه ΔV حيث:

$$\Delta V = (E_s - E_s^o) + (E_c - E_c^o) \dots\dots\dots\dots\dots\dots (6)$$

أي أن

$$\Delta V = \frac{\alpha_2^2}{5}(2E_s^o - E_c^o) \dots\dots\dots\dots\dots (7)$$

تبين هذه المعادلة أن القطرة السائلة ستكون مستقرة إذا كان.

$$2E_s > E_c^o \dots\dots\dots\dots\dots (8)$$

ويمكن تعريف معامل الإنشطار (x) حيث:

$$X = \frac{E_c^o}{2E_s^o} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (9)$$

ومن ثم فإن:

1. إذا كانت: X> 1 فإن النواة ستنشطر.
2. اذا كانت X<1 فإن النواة ستكون مستقرة.

ويمكن حساب X من العلاقات الأساسية لنموذج القطرة السائلة حيست نجد أن:

$$E_c^o = \frac{3Z^2e^2}{5\,R_o} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (10)$$

وبالتعويض عن قيمة الثوابت نجد أن:

$$E_c^o = 0.711 \frac{Z^2}{A^{\frac{1}{3}}} Mev \dots\dots\dots\dots\dots\dots (11)$$

أما طاقة التوتر السطحي E_s فأنها تعطى بالعلاقة:

$$E_s = 17.8\, A^{\frac{2}{3}}\, Mev \dots\dots\dots\dots\dots\dots (12)$$

المعادلتين (9) و (10) وبالتعويض في المعادلة (8) نجد أن:

$$X = \frac{\frac{Z^2}{A}}{50.13} \dots\dots\dots\dots\dots (13)$$

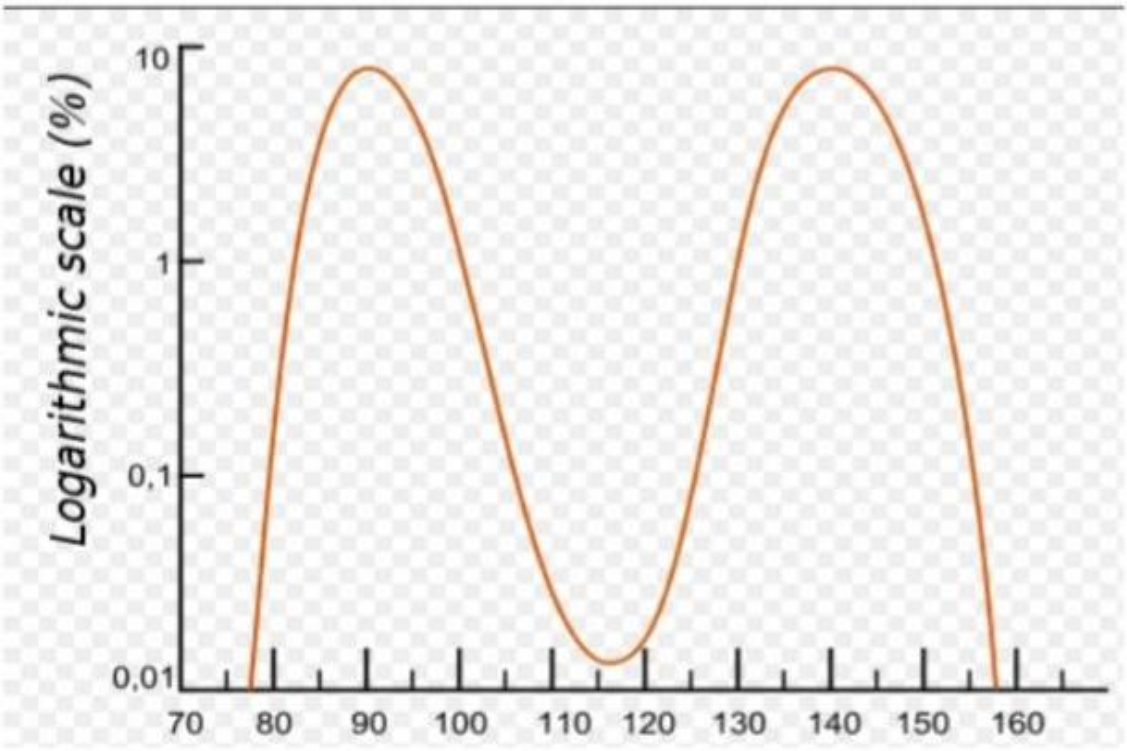
وبالتالي فان هذه المعادلة تمثل شرط حدوث الإنشطار النووي التلقائي للأنوية فإذا كانت: $\frac{Z^2}{A} > 50.13$ فإن ذلك يعني أن النواة سوف تنشطر تلقائيا Spontaneously [13].

(4-2) انشطار اليورانيوم بواسطة النيترونات الحرارية

بالإمكان حدوث عملية الانشطار باستخدام النيوترونات الحرارية (النيوترونات الحرارية عبارة عن نيوترونات طاقتها تقريبا (0.025eV) هنالك ثلاث نوى U^{233} و U^{235} و Pu^{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} و U^{235} و Pu^{239} على التوالي. أن سلوك الانشطار للنظيرين U^{233} و Pu^{239} 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 أخرى[9].

ان انشطار نواة اليورانيوم 235 بواسطة النيوترون الحراري او البطيء يعطي انبعاثا لعدد مختلف من نواتج الانشطار (شظايا الانشطار) نوى اليورانيوم U^{235} بين A=80 و A=160 وكما هو موضح بالشكل

(5-2)، حيث ان نواتج الانشطار γ(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[11].



الشكل (2-2) يوضح نواتج الانشطار النووي لليورانيوم U^{235} بعد امتصاصه[6] النيوترونات[6].

$U^{235} + on^2 \rightarrow$ (الانشطار شظايا) + نيوترونات + طاقة

شظايا الانشطار اما نواة (الزينون140 + نواة السترنتيوم 94) او (نواة الكريتون 92 + نواة الباريوم 141) في هذا التفاعل تتكون لدينا نواة مركبة $_{92}U^{236}$ و 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[12].

وفي عمليات الانشطار النووي هناك اكثر من ثلاثين اسلوب للانشطار ففي كل انشطار يتولد زوجان من مختلفان من النوى، ومن أكثر

النـــوى شـــيوعا هـــي البـــاريوم (Barium) اللينثوثيـــوم (lanthanum) والبـــــرومين (Bromine) المولبـــــديوم (Moiybdenum) الرابـــــديوم (Rubidium) والكريتـــون (Krypton) والايـــودين (lodion) والزينـــون (Xenon) والسزيوم (Cwsium).

لقـد لـوحظ ان انبعـاث اشـعاع فـي العمليـات الانشـطار يرجـع لعـدم اسـتقرار النـوى المتمثلـة فـي شـظايا الانشـطار لاحتوائهـا علـى عـدد كبيـر مـن النترونـات والتـي تعمـل للـتخلص منـا وذلـك بانحلالهـا بعـد ان تنبعـث جسـيمات (B-) فـي معظـم الحـالات تمـر هـذه الشـظايا سلسـلة مـن الانحـلالات حتـى تصبح نظرا مستقرا مثل:

$$\cdot_{54}Xe^{143}\frac{B-}{1\text{sec}}\ \cdot_{55}\text{Cs}^{143}\frac{\text{B}-}{1\text{sec}}\ \cdot_{56}\text{Ba}^{143}\frac{\text{B}-}{<0.5\ \text{min}}\ \cdot_{57}\text{La}^{143}\frac{\text{B}-}{19\text{min}}$$

سلسلة قصيرة (مستقرة)

$$\cdot_{58}Ce^{143}\frac{B-}{33\ Day}\ \cdot_{59}\text{pr}^{143}\frac{\text{B}-}{13.8\ \text{Day}}\ \cdot_{60}\text{Nd}^{143}\frac{\text{B}-}{11\ \text{Day}}\ \cdot_{61}\text{Pm}^{147}\frac{\text{B}-}{4\ \text{yers}}\ldots\ldots(10^{11}yr)$$

ان النيوترونـات المصـاحبة لعمليـة الانشـطار قـد تسـبب فـي شـطر نـوى اخـرى ويسـبب تولـد نيتـرون او اكثـر مقابـل كـل نيـوترون يسـتهلك فـي عمليـة الانشـطار يمكننـا الحصـول علـى تفاعـل متسلسـل يكـون مصـدرا لطاقـة هائلة[13].

(5-2) المفاعل النووي

المفاعـل النـووي عبـارة عـن جهـاز الغـرض منـه السـيطرة علـى عمليـة الانشـطار النـووي المتسلسـل والنـاتج عـن وضـع كميـة مـن الوقـود النـووي ثـم تعريضـها الـى مصـدر نيـوتروني، عنـد تعـرض ذرة الوقـود الـى نيوترونـات فأنهـا قـد تمـتص احـد هـذه النيوترونـات المصـطدمة بهـا، ونتيجـة لـذلك فأننـا تحصل على نيوترون او اكثر عند انشطار اليورانيوم U^{235}.

وكمـا قلنـا سـابقا، ان عمليـة التفاعـل المتسلسـل تنشـا مـن اصـطدام احـد النيوترونـات الناتجـة عـن الانشـطار بـذرة وقـود اخـرى وبـذلك تحصـل علـى انفـلاق جديـد وعـدد آخـر مـن النيوترونـات فالمفاعـل يسـيطر علـى هـذه

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 وتستخدم المفاعلات النووية في محطات الطاقة النووية لتوليد الكهرباء ودفع السفن والغواصات[10].

أحد أنواع المفاعلات النووية هو مفاعل الماء الخفيف الذي يعمل باليورانيوم المخصب – به نحو 35% من اليورانيوم U^{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 ادناه) يتم نقل البخار عالي الضغط عبر التوربينات البخارية فيدور، يمكن استغلال دوران التوربين في دفع مراوح السفينة أو الإدارة المولدات الكهربائية ويمكن استخدام الماء الساخن المتولد من تفاعل انشطار اليورانيوم من حيث المبدأ في العمليات الصناعية أو للتدفئة في المناطق الباردة[11].

كما تستخدم بعض المفاعلات النووية الصغيرة لإنتاج نظائر مشعة للاستخدام الطبي والصناعي، أو لإنتاج البلوتونيوم P^{239} من اليورانيوم الطبيعي - يستخدم البلوتونيوم P^{239} في صنع الأسلحة النووية كما يمكن استخدام البلوتونيوم - P^{239} بعد خلطه بنسبة نحو 4% مع اليورانيوم الطبيعي في تشغيل مفاعل نووي يولد الكهرباء.

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[12].

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 P^{239} لتصنيع الأسلحة النووية.

جميع المفاعلات النووية تتكون من وعاء ثقيل يشبه الصهريج أو الخزان ويسمى وعاء المفاعل أو وعاء الضغط يحوي داخله "قلب" (Core) من الوقود النووي معظم المفاعلات تحتوي أيضاً على "مهدى" (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 "مبرد" (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[11].

ويتم تنظيم سرعة التفاعل النووي أو "السيطرة عليه" من خلال نظام للتحكم (Control System) المكون من قضبان كادميوم تمتص النيوترونات الزائدة عند تغطيسها في قلب المفاعل بين قضبان اليورانيوم، فيتم التفاعل المتسلسل هادئاً كما تُفرض احتياطات للسلامة صارمة جداً في تشغيل المفاعلات، ومعالجة منتوجات التفاعل الثانوية المشعة والتخلص من النفايات الخطرة.

(6-2) مكونات المفاعل النووي

هناك مفاعلات طبيعية موجودة في الطبيعة ومفاعلات صناعية من صنع البشر فالنجوم وكالشمس ماهي الا مفاعل اندماجي كبير تحدث بداخله الكثير من التفاعلات المتسلسلة والتي تطلق كميات كبيرة من الطاقة التي

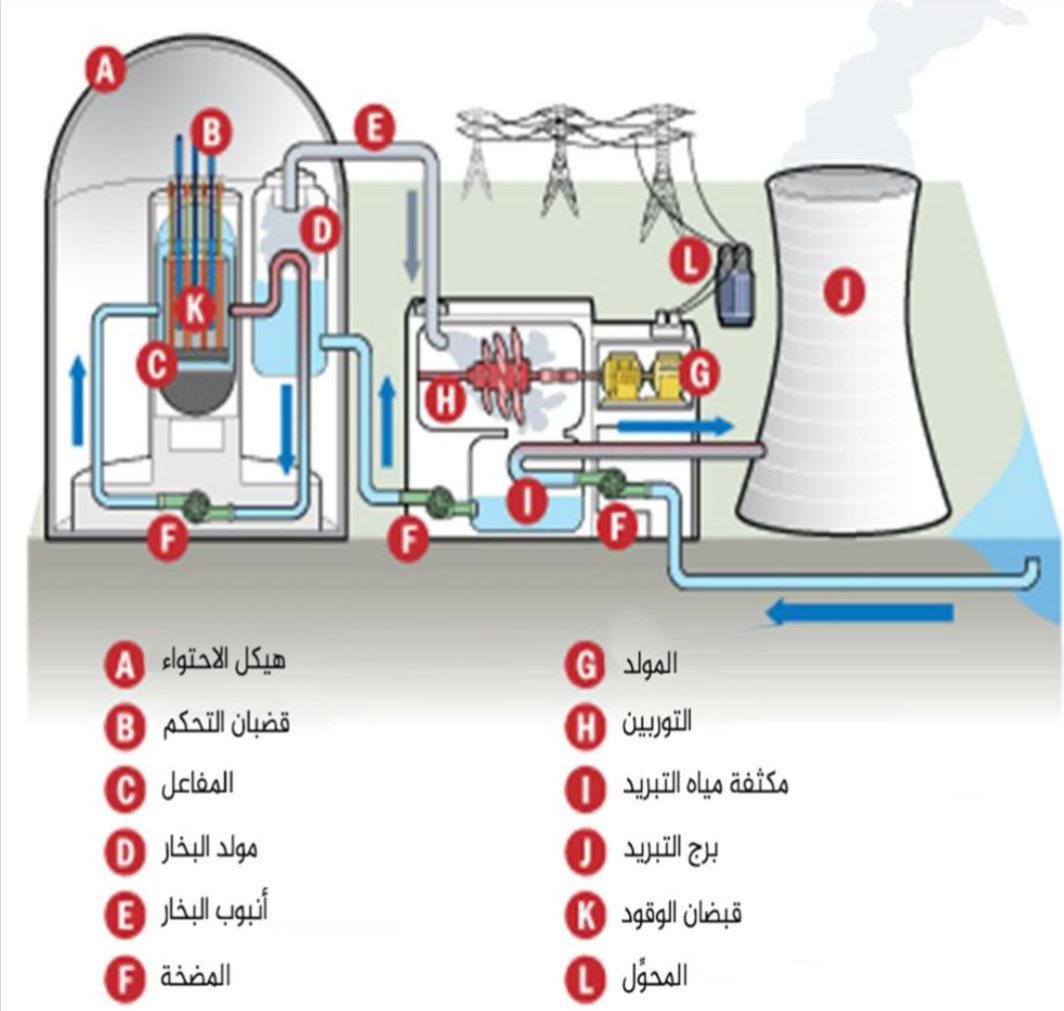
تحافظ على الحياة من الزوال فهي تمدنا بالحرارة والضوء اما المفاعلات الصناعية فهي تستخدم الوقود النووي كاليورانيوم وعن طريق اجراء سلسلة من التفاعلات النووية تحرر تلك الطاقة الكامنة داخل النواة فلنتعرف على مكونات المفاعل النووي:

1. **القلب أو core:** وهو المكان الذي يحوي قضبان الوقود (انظر الشكل أدناه).
2. **الوقود النووي:** عبارة عن قضبان من اليورانيوم أو أوكسيد اليورانيوم الطبيعي او المخصب باليورانيوم 235، هذه القضبان مجمعة على هيئة حزم أو قطاعات بحيث تسمح للمبرد ان يتدفق خلالها الاستخلاص الحرارة منها.
3. **قضبان التحكم:** عبارة عن قضبان مصنوعة من الكادميوم أو سبيكة صلبة والبور وتستخدم في امتصاص النيوترونات والتحكم بها.
4. **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. **المبرد Coolant**: سائل أو غاز يدور حول المفاعل لنقل الحرارة أو امتصاصها من الوقود لمنع ذوبان قضبان الوقود وأهم خصائص المبردات ان يكون امتصاصها للنيوترونات أقل ما يمكن والمبردات المستخدمة هي الماء بأنواعه والغازات مثل غاز ثاني أوكسيد الكربون والهيليوم وفلز الصوديوم والرصاص أو خليط الرصاص البزموث وأملاح الفلور المنصهرة.
6. **العواكس Reflectors**: يزود قلب المفاعل بعواكس من مواد خفيفة وظيفتها الحفاظ على النيوترونات من التسرب خارج المفاعل وعكس بعض النيوترونات الي قلب المفاعل، توضع احياناً عواكس

مـن اليورانيـوم – 238 للإسـتفادة مـن النيوترونـات المتسـربة خـارج المفاعل لتحويلها الى مادة الانشطارية.

7. **مبـادلات حراريـة:** لان البخـار العـالي الضـغط يكـون ملونـا بالإشـعاع ولمنـع تسـرب هـذا الاشـعاع توجـد مبـادلات حراريـة والتـي تفصـل مـاء التبريـد التـي تلامـس قلـب المفاعـل وتكـون نسـبة الاشـعاع فيهـا خطيـرة والماء المضغوط المستخدم في ادارة التوربينات.

8. **حاويـات:** وهـي جسـم المفاعـل الخـارجي وهـي عبـارة عـن جـدران سـمكها حـوالي 25 سـم مـن الحديـد الصـلب لمنـع تسـرب الاشـعاعات خارج المفاعل.

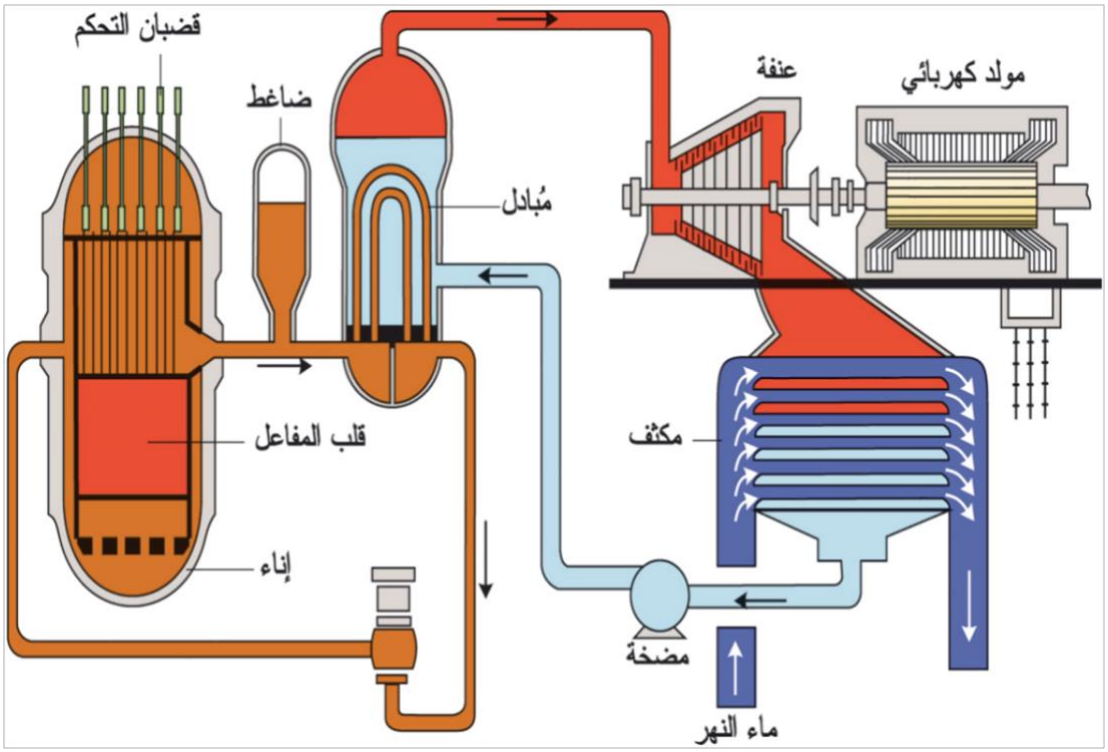


الشكل (2-3) مكونات المفاعل النووي[4].

(7-2) مبدأ عمل المفاعل النووي

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 جدا تحتوي النوى الثقيلة مثل اليورانيوم والبلوتونيوم على عدد كبير من البروتونات، والتي تحتاج في بعض الاحيان ان تجذب نيترونا اضافيا لاستقرار نواتها[9].

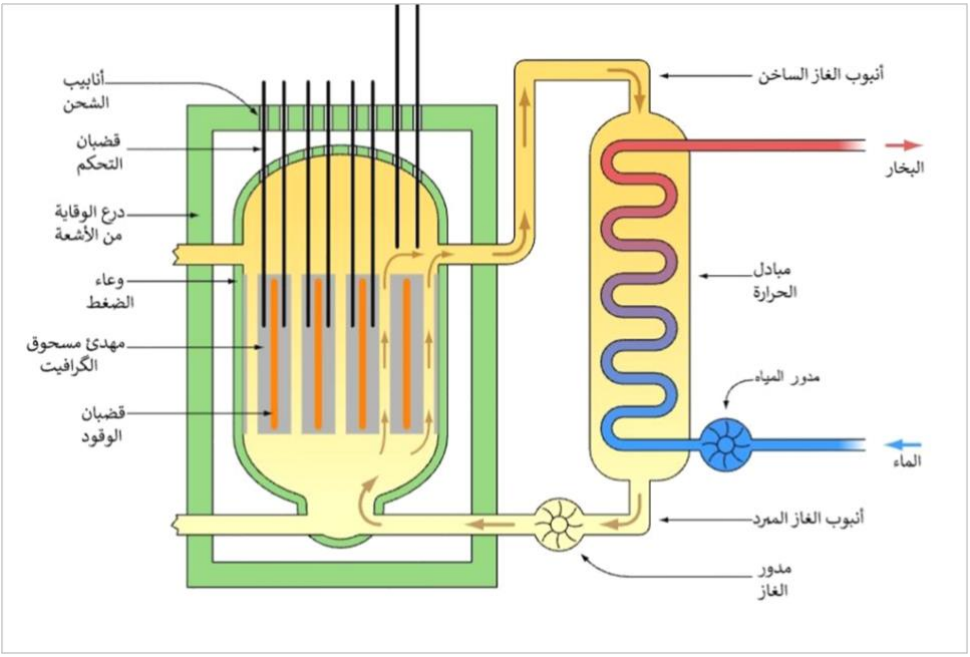
إذا اخذت احدى هذه النوى الثقيلة نيترونا فأنها تأخذ معها طاقة تحول هذه الطاقة النواة الى حالة غير مستقرة فتنقسم بسرعة محررة نيترونين او ثلاثة نيترونات تستعمل لانشطار نوى اخرى تسمى النوى الجديدة نواتج الانشطار، وتكون لها طاقة ربط أكبر من الذرات الثقيلة الأولى، والفرق في هذه الطاقة يتحول الى طاقة حركية لنواتج الانشطار، والتي تتحول بدورها الى حرارة بفعل التصادم، يستفاد منا مثلا في التسخين او انتاج الكهرباء[8].



الشكل (2-4) مبدأ عمل المفاعل النووي[4].

(2-8) 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 أن 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 الآخر واستخدامه كوقود في المفاعل[10].



الشكل (2-5) يوضح الشكل الاعتيادي لمولد القدرة النووية فقلب المفاعل (core)[6].

يحتوي على وحدات الوقود او قضبان الوقود وهي ذات حجوم محدودة من اليورانيوم الطبيعي أو المخصب باليورانيوم U^{235} تخلق هذه القضبان بصورة جيدة وذلك لاحتواء الوقود اولاً ونتائج الانشطار ثانياً ولمنع تسربها الى مادة التبريد (المهدئ) ثالثاً وحدات الوقود تقريبا في قلب المفاعل بأسلوب هندسي يفسح المجال أوضح مادة المهدئ اللازمة لتبطئه سرعة النيوترونات الشكل (2-4) حيث تكون هذه المادة وفي اغلب الاحيان ماءا ثقيلا (D_{20})، 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[8].

تستخدم هذه القبضان للسيطرة على سرعة التفاعل الانشطاري (مستوى القدرة)، أي لزيادة القدرة تدفع هذه القضبان الى الخارج اما للتقليل من مستوى القدرة تدفع القضبان الى الداخل والمعرفة درجات الحرارة

والتحكم بها وكذلك كثافة الفيض النيوتروني توضع اجهزة قياس في اماكن محدودة في قلب المفاعل.

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 المهدئ الى خارج الحيز الذي تشغله قبضان الوقود ان وجود العاكس يزيد من كثافة القبض النيوتروني في قلب المفاعل أن 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[10].

(2-9) تصنيف المفاعلات النووية

بنيت انواع مختلفة من المفاعلات النووية لدراسة الانشطار النووي المتسلسل والتحكم بيه والمحافظة على استمراريته 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 وهى اليورانيوم U^{235} والبلوتونيوم P^{239} واليورانيوم U^{223} ويدخل اليورانيوم في تركيب المفاعلات النووية في حالته الطبيعية أي يحتوي على 0.715 من نظيره 235 او خصب بنسبة قد تصل الى 90% اما اليورانيوم 23 و البلوتونيوم 239 فيفضل استخدامها في المفاعلات المنتجة وهذا النوع من المفاعلات يقوم بتحويل المواد المخصبة الى انشطارية وينتج وقود أكثر مما يستهلك[2].

2. طاقة النيوترونات

تستخدم نيوترونات حرارية لشطر وقود المفاعلات الحرارية اما المفاعلات السريعة أو المنتجة اما المفاعلات السريعة او المنتجة 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[3].

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 H_2O له قدرة تخفيض عالية وكذلك مقطعه العرضي للامتصاص عالي نسبيا اما الماء الثقيل D_2O 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 الأغراض 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 وCo_2 و N_2 لتدويره تحت ضغط عال لتقوم بالعملية يجب أن يؤخذ بنظر الاعتبار كل ما تقدم عند تصميم المفاعل النووي[2].

(2-10) مزايا وعيوب المفاعل النووي

المزايا

1. لا تحتاج الى درجة حرارة عالية جداً لإحداث التفاعل.
2. تستخدم لانتاج الطاقة الكهربائية في معظم الدول كما تستخدم لأغراض عديدة أخرى.

العيوب

1. المخلفات النووية الناتجة من التفاعل تظل مشعة لمدة طويلة كما ان التخلص منها مشكلة كبيرة.
2. تكلفتها عالية.
3. عرضه للحوادث ويترتب عليها عواقب سيئة لا يمكن اهمالها من وجهة نظر الحماية من الاشعاع والأمان النووي.
1. ينتج عنها مواد انشطارية تستخدم لأغراض غير سلمية.
2. أقل أمناً من المفاعلات النووية الاندماجية.

الفصل الثالث

الاندماج النووي والطاقة المتحررة منه

(3-1) الاندماج النووي

هو العملية التي من خلالها تتشكل التفاعلات النووية بين العناصر الخفيفة عناصر أثقل (حتى الحديد)، في الحالات التي تنتمي فيها النوى المتفاعلة إلى عناصر ذات أعداد ذرية منخفضة (على سبيل المثال، الهيدروجين العدد الذري (1) أو نظائره الديوتيريوم والتريتيوم)، فإنه يتم إطلاق كميات كبيرة من الطاقة تم استغلال إمكانات الطاقة الهائلة للاندماج النووي لأول مرة في الأسلحة النووية الحرارية، أو القنابل الهيدروجينية، التي تم تطويرها في العقد الذي أعقب الحرب العالمية الثانية مباشرة، وفي الوقت نفسه فإن التطبيقات السلمية المحتملة للاندماج النووي، لا سيما في ضوء الإمداد اللامحدود أساسا لوقود الاندماج على الأرض، قد شجع على بذل جهد هائل لتسخير هذه العملية لإنتاج الطاقة[6].

تشكل تفاعلات الاندماج مصدر الطاقة الأساسي للنجوم بما في ذلك حيث يمكن النظر إلى تطور النجوم على أنه ممر عبر مراحل مختلفة، بحيث تسبب التفاعلات الحرارية النووية والتركيب النووي بإحداث تغيرات تركيبية على مدى فترات زمنية طويلة. يحاول العلماء منذ عدة أعوام توليد الطاقة عن طريق الاندماج النووي، وهي طريقة حديثة لها ميزات عديدة، ولكنها مكلفة وتتطلب مفاعلات معقدة التركيب [5].

يحاول الباحثون استنباط طاقة هائلة ونظيفة من ظاهرة كونية تسمح بتكون الشمس والنجوم ألا وهي الاندماج النووي وعكس الانشطار النووي المستعمل في المفاعلات النووية الحالية، الاندماج النووي لا يمثل خطراً على البيئة والإنسان وما زال العمل مستمراً لضبط التقنية بتعاون دولي، خاصة من خلال مشروع ITER الضخم في فرنسا.

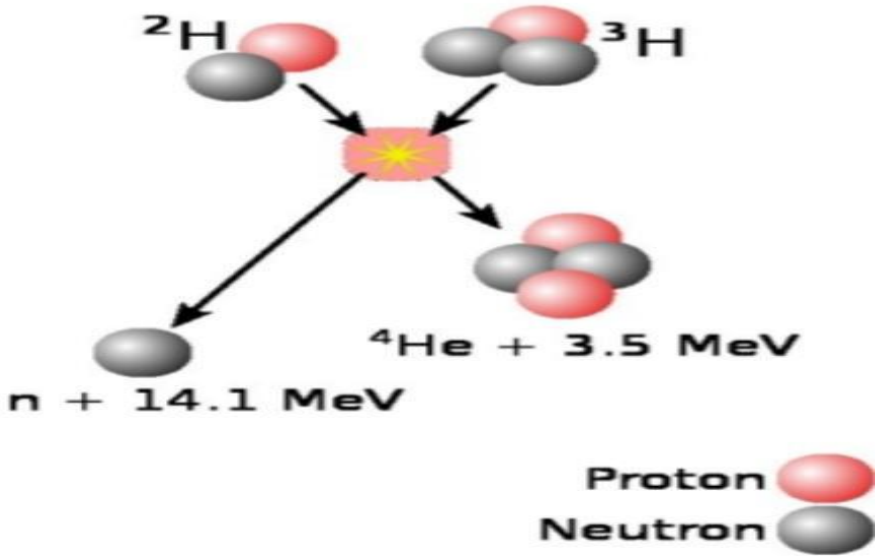
(3-2) الية الاندماج النووي

تحدث تفاعلات الاندماج عندما تقترب نواتان ذريتان أو أكثر بما يكفي لفترة كافية بحيث تتجاوز القوة النووية التي تجمعهما معا القوة الكهروستاتيكية التي تدفعهما بعيدًا عن بعضهما البعض ، ودمجهما في نوى أثقل بالنسبة إلى النوى الأخف من الحديد-56، يكون التفاعل طاردًا للحرارة، ويطلق طاقة بالنسبة للنواة الأثقل من الحديد-56، يكون التفاعل ماصا للحرارة ويتطلب مصدرا خارجيًا للطاقة ومن ثم ،

فإن النوى الأصغر من الحديد-56، هي أكثر عرضة للانصهار بينما تلك الأثقل من الحديد 56 هي أكثر عرضة للانفصال[6].

تعمل القوة الشديدة فقط على مسافات قصيرة، بينما تعمل القوة الكهروستاتيكية الطاردة لمسافات أطول من أجل الخضوع للاندماج، يجب إعطاء ذرات الوقود طاقة كافية للاقتراب من بعضها البعض بما يكفي لتصبح القوة القوية نشطة تعرف كمية الطاقة الحركية اللازمة لتقريب ذرات الوقود بدرجة كافية باسم "حاجز كولوم" تشمل طرق توفير هذه الطاقة تسريع الذرات في مسرع الجسيمات، أو تسخينها إلى درجات حرارة عالية بمجرد تسخين الذرة فوق طاقة التأين الخاصة بها، يتم تجريد إلكتروناتها تتأين)، تاركة فقط النواة العارية (الأيون) والنتيجة هي سحابة ساخنة من الأيونات والإلكترونات المرتبطة بها سابقا تعرف هذه السحابة بالبلازما لأن الشحنات منفصلة، فإن البلازما موصلة للكهرباء ويمكن التحكم فيها مغناطيسيا تستفيد العديد من أجهزة الاندماج من هذا للتحكم في الجسيمات أثناء تسخينها[7].

يبدأ احتراق الهيدروجين (H) مصدر طاقة اندماج النجوم ويؤدي إلى تكوين الهيليوم (He) ويعتمد توليد طاقة الاندماج للاستخدام العملي أيضا على تفاعلات الاندماج بين العناصر الأخف وزناً التي تحترق لتكوين الهيليوم، وفي الواقع تتفاعل النظائر الثقيلة للهيدروجين الديوتيريوم (D) والتريتيوم (T) بشكل أكثر كفاءة مع بعضها البعض، وعندما تخضع للانصهار، فإنها تنتج طاقة لكل تفاعل أكثر من نواتي الهيدروجين،(تتكون نواة الهيدروجين من بروتون واحد، كما تحتوي نواة الديوتيريوم على بروتون واحد ونيوترون واحد، بينما يحتوي التريتيوم على بروتون واحد ونيوترونين)، تطلق تفاعلات الاندماج بين العناصر الخفيفة، مثل تفاعلات الانشطار التي تقسم العناصر الثقيلة، الطاقة بسبب سمة رئيسية للمادة النووية تسمى طاقة الربط والتي يمكن إطلاقها من خلال الاندماج أو الانشطار[8].



الشكل (3-1) اندماج الديوتيريوم مع التريتيوم مكونا الهيليوم-4، وتحرير النيوترون[5].

(3-3) تفاعلات الاندماج النووي

الانـدماج النـووي هـو عمليـه معاكسـة للانشـطار النـووي حيـث تنـدمج نـواتين خفيفتـين لتكـوين نـواة ثقيلـة كتلتهـا تقـل مـن مجمـوع كتلـة مكوناتهـا ويحـدث الانـدماج النـووي بـين النـوى الخفيفـة كشـرط أساسـي ويـؤدي الـي انطـلاق طاقـة نتيجـة لأن الكتلـة الكليـة للنـواة الناتجـة أقـل مـن الكتلـة الكليـة للنـوى المتفاعلـة الاصـلية وهـذا الـنقص فـي الكتـل يتحـول الـى طاقـة ويسـمى التفاعـل بالتفاعـل النـووي الحـراري لأنـه يحـدث فقـط عنـد درجـات حـرارة عاليـة جـداً، ويعتبـر هـذا النـوع مـن التفـاعلات مصـدر الطاقـة الشـمس والنجـوم والتـي تنـتج مـن انـدماج انويـة الهيـدروجين "الـديتريوم والتريتيـوم" مـع بعضـها لتوليـد أنويـة ذرات الهيليـوم وإن تفـاعلات الانـدماج فـي الشـمس ليسـت مباشـرة بل تأخذ المراحل التالية[5]:

$$p + p \rightarrow d + e^{+} + v \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1)$$

$$p + d \rightarrow He^{3} + \gamma \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (2)$$

$$p + He^{3} \rightarrow He^{4} + e^{+} + v \dots\dots\dots\dots\dots\dots (3)$$

حيث ان d تعني الديتريوم وعند جمع التفاعلات الثلاث تحصل على:

$$4p \rightarrow He^{+} + 2e^{+} + v \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (4)$$

أي ان التفاعلات الثلاثة تمثل تحول أربعة بروتونات لتكون نواة الهيليوم وإلكترونين، ولحساب الطاقة الناتجة عن تحول أربعة برتونوات الى نواة الهيليوم.

$$Q = 4m_p c^2 - m_{He}c^2 - 2m_e c^2 \dots\dots\dots\dots (5)$$

$$3753.1 - 3727.5 - 1 = 24\ Mev$$

يمكن تقسيم تفاعلات الاندماج النووي الي مجموعتين رئيسيتين تعرف أولهما بدورة البروتون – بروتون والأخرى بدورة الكربون، كما وأننا نقترح هنا دورة أخرى تبدأ بالأوكسجين وحيث ان هذه التفاعلات تتم داخل النجوم حيث تبلغ هناك درجة الحرارة قيماً هائلة حوالي 10^8K فان المادة تصبح في حالة تأين كامل تعرف بحالة البلازما ويطلق على التفاعلات التي تتم عند درجات الحرارة هذه[6].

(4-3) أنواع الاندماج النووي

تتكون تفاعلات الاندماج من نوعين أساسيين

(1) تلك التي تحافظ على عدد البروتونات والنيوترونات.

(2) تلك التي تنطوي على تحويل بين البروتونات والنيوترونات.

تفاعلات النوع الأول هي الأكثر أهمية لإنتاج طاقة الاندماج العملي، في حين أن تفاعلات النوع الثاني مهمة لبدء احتراق النجوم، يشار إلى العنصر التعسفي بواسطة الترميز AZX، حيث Z هي شحنة النواة و A هي الوزن الذري، تفاعل الاندماج المهم لتوليد الطاقة العملي هو تفاعل الديوتيريوم والتريتيوم تفاعل اندماج (D-T) ينتج الهيليوم (He) ونيوترون (n) ويكتب D+T → He + n على يسار السهم (قبل التفاعل) يوجد بروتونان وثلاثة نيوترونات ونفس الشيء صحيح على اليمين، التفاعل الآخر الذي يبدأ حرق النجوم، يتضمن اندماج نواتين هيدروجين لتكوين

الـديوتيريوم) تفاعـل انـدماج +++D → H + H :(HH)، حيـث تمثـل +β بـوزيترون وتعنـي نيوتريـنـو، وقبـل التفاعـل فهنـاك نواتـان للهيـدروجين (أي بروتـونين)، بعـد ذلـك يوجـد بروتـون واحـد ونيـوترون واحـد مرتبطـان معـا كنـواة الـديوتيريوم بالإضـافة إلـى البـوزيترون والنيوتريـنـو النـاتج عـن تحويـل بروتـون واحـد إلـى نيـوترون، إن كـل مـن تفـاعلات الانـدماج هـذه هـي طاقـة خارجية وبالتالي تنتج طاقة.

اقتـرح الفيزيـائي الألمـاني المولـد هـانز بيتـه فـي ثلاثينيـات القـرن الماضـي أن تفاعـل الانـدماج H-H، حيـث يمكـن أن يحـدث مـع إطـلاق صـاف للطاقـة ويـوفر، إلـى جانـب التفـاعلات اللاحقـة، مصـدر الطاقـة الأساسـي الـذي يحـافظ علـى النجـوم، ومـع ذلـك، يتطلـب توليـد الطاقـة العملـي تفاعـل D-T لسـببين: أولاً: معـدل التفـاعلات بـين الـديوتيريوم والتريتيـوم أعلـى بكثيـر مـن معـدل التفـاعلات بـين البروتونـات، ثانيـا: صـافي إطـلاق الطاقـة مـن تفاعـل D-T أكبر 40 مرة من تفاعل HH[5].

(3-5) العوامل التي يعتمد عليها الاندماج النووي

يعتمد الاندماج النووي على ثلاثة عوامل هي:

1- درجـة الحـرارة : يجـب أن تكـون درجـة الحـرارة عاليـة للغايـة تقـدر بـألاف الدرجات المئوية في مركز الاندماج الوية القادسية

2- الكثافـة: "يجـب أن لا تقـل كثافـة الغـاز المتـأين (البلازمـا) عـن 10^{14} جسيم/سم^3، أي ما يعادل 10^{20} جسيم/م^3 داخل حيز الاندماج.

3- المـدة الزمنيـة: يجـب الاحتفـاظ بكثافـة الغـاز المتـأين فـي درجـة حـرارة عاليـة للغايـة لمدة لا تقل ثانية واحدة.

هذه العوامل الثلاثة يجب مراعاتها في أي مفاعل للاندماج النووي.

وقـد تمكنـت مختبـرات توكامـاك فـي الولايـات المتحـدة الأمريكيـة وروسـيا واليابـان مـن تحقيـق شـروط الانـدماج الثلاثـة المطلوبـة ولكـن بصـورة منفـردة، ولا تـزال القـدرة المطلوبة لحدوث الاندماج تقل بكثير عن تحقيق عملية الاندماج النووي[7].

(6-3) كواشف الاثر النووي ناتجة من الانشطار النووي

تقسم كواشف الأثر النووي إلى قسمين رئيسين هما الكواشف اللاعضوية والكواشف العضوية فالكواشف اللاعضوية هي التي لا يدخل في تركيبها عنصري الكاربون والهيدروجين، ومن أبرز أنواع هذه الكواشف المايكا، إذ يستخدم لتسجيل آثار النيترونات وشظايا الانشطار ويمتاز بحساسيته العالية للدقائق المشحونة ذات الكتلة الأكبر من 30 amu ويتميز باستقراره العالي عند تسجيله للدقائق المشحونة حتى درجة الحرارة 400C° فضلاً عن أن كاشف المايكا يحتوي على ذرات اليورانيوم والتاليوم بتركيز (10^{8}-10^{10}) مما يسبب خلفية إشعاعية عالية بعد القشط إذ يستخدم محلول حامض الهيدروفلوريك HF بتركيز 48% ودرجة حرارة بحدود C° (20-25) في عملية القشط أما كاشف الزجاج فانه[9].

يعد من الكواشف الجيدة في الكشف عن النيترونات وبخاصة في المفاعلات النووية وذلك لتحمله درجات الحرارة العالية وقابليته على تحسس شظايا الانشطار ويمتاز بنفس المواصفات التي يمتلكها المايكا ويتم إظهار الآثار بالطريقة نفسها كما للمايكا.

أما الكواشف العضوية وهي عبارة عن مواد بوليمرية، والبوليمرات هي جزيئات كبيرة متكونة من وحدات صغيرة متكررة ومرتبطة مع بعضها تدعى مونومر (Monomer) وتتكون وحدات المونومر في معظم اللدائن من ذرات مرتبطة مع بعضها بأصرة تساهمية تغلب عليها أصرة هيدروجين كاربون (H-C) وتشتمل البوليمرات العضوية على مركبات تحتوي فضلا عن ذرات الكاربون والهيدروجين والأوكسجين والنتروجين على الكبريت والهالوجينات مع العلم أن اغلب الأواصر التي تربط بين هذه الذرات تكون سهلة الكسر عند تعرضها للإشعاع ان من ابرز أنواع الكواشف العضوية هي الكواشف السليلوزية إذ تتضمن أنواعاً متعددة منها نترات السليلوز واسينات السليلوز (CA 8-15) و (LR-115) بأنواعه المختلفة وتمتاز هذه الكواشف باحتوائها على النتروجين في تركيبها الكيميائي فكاشف نترات السليلوز (CN-85) تركيبه الكيميائي (His) وتعد اسيتات السليلوز من الكواشف الجيدة في الكشف عن النيترونات والجسيمات المشحونة مثل البروتونات وجسيمات ألفا وشظايا الانشطار والأيونات الثقيلة ويبلغ سمك هذه الكواشف (100 um) ويطلى من جانبيه بطبقة رقيقة من رابع بورات الليثيوم (LiB_4) القابل للذوبان بالماء وتكمن أهمية وجود

عنصري البورون B والليثيوم Li في كونهما يمتلكان مقاطع عرضية كبيرة للتفاعل مع النيترونات البطيئة ويستخدم هيدروكسيد الصوديوم بعيارية 4 ودرجة حرارة (50) ولمدة 3 القشط هذه الأنواع من الكواشف أما الكاشف (LR-115) وتركيبه الكيميائي يكون على أنواع عدة (LR-115IIB و LR-115IB) ويقرب سمكه من (12- 13 Aam) ويتكون من طبقة رقيقة من نترات السليلوز مثبتة على شريحة أكبر سمكا من البوليستر يتم قشط هذا الكاشف باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم Na oH بعيارية 2.5 ودرجة حرارة 60 ولمدة Shes، ويستخدم هذا الكاشف لقياس جرع النيترونات الحرارية والنيترونات السريعة وجسيمات ألفا ويستخدم 18.1150 في حساب تراكيز الرادون واليورانيوم في التربة والماء وداخل المنازل والعينات الجيولوجية[10].

يعد كاشف الماكر وقول من الكواشف العضوية أيضاً وهو عبارة عن بولي كاربونيت Carbonate (Ploy) وله التركيب الكيميائي (CH) ويقرب سمكه من 300 Lam وكثافته 1.2 gm/cm ولهذا الكاشف سطحان أحدهما أملس والآخر خشن ويجب أن يكون السطح الأملس مواجها للمصدر المشع وذلك لقلة التشوهات مما يعطي أثاراً، واضحة، تتم عملية القشط لهذا الكاشف عادة بمزج 80% من هيدروكسيد البوتاسيوم KOH مع 20% من الايثانول عند درجة حرارة 40 ولمدة 4 hrs ويعد هذا الكاشف من الكواشف الجيدة في تسجيل آثار النيترونات وشظايا الانشطار ويستخدم في معايرة الرادون وقياس تراكيز اليورانيوم[8].

ومن الكواشف العضوية أيضا كاشف الليكسان إذ يستخدم في الكشف عن شظايا الانشطار (Fission fragment) والجسيمات المشحونة، وتركيبه الكيميائي (CH) وكثافته 1.2 gm/cm^3 ويشترك مع الماكر وقول في بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية وله القدرة على التمييز بين الأيونات الثقيلة، ويمكن الاحتفاظ بالكاشف بعد تشعيعه لفترة طويلة تحت ظروف مختلفة من ضغط وحرارة، ومن الكواشف العضوية المهمة والتي تستخدم في العديد من المجالات لما يمتلكه من خصائص كشفية وتسجيلية جيدة للجسيمات المشحونة الكاشف النووي البلاستيكي الصلب CR-39 ظهر هذا الكاشف النووي البلاستيكي الصلب CR-39 المستخدم في دراستنا CR-39 عبارة عن مادة بوليمرية وهو مختصر من (Columbia Resin) يحضر هذا الكاشف من عملية البلمرة لكاربونات الأليلد ايكول المتعدد (Play

(Allydiglycal Carbonate) الصيغة الجزيئية له (CH) وكثافته 3 gm/cm يتميز هذا الكاشف بشفافيته البصرية وحساسيته العالية وتجانس وانتظام تركيبه لقد أنجزت تجارب عدة من أجل تطوير وتحسين هذا الكاشف، فقد تم إنتاج كاشف متطور من CR-39 هو كاشف SR-86 ذو حساسية أعلى من CR-39 كما تم إنتاج كاشف آخر متطور أيضاً هو كاشف PM-355 الذي يمتاز بحساسيته العالية للكشف عن البروتونات[9].

وبشكل عام، فان كاشف CR-39 يعد من الكواشف الصلبة ذات الحساسية العالية للجسيمات المشحونة ويعزى السبب الرئيسي إلى كون هذا الكاشف بوليمر ذو تركيب عضوي يحتوي على روابط الكاربون في مونومر مادة الكاشف وهذه الروابط ضعيفة نسبياً وتتكسر بسهولة عند تعرضها للإشعاع ولزيادة هذه الحساسية يتم إدخال روابط اضعف من روابط الكاربون إلى تركيبه الشبكي المترابط المقطع وبذلك اصبح كاشف CR-39 أكثر انتشاراً من الكواشف الأخرى، ومن أهم الخواص التي يتميز بها:

1. الشفافية البصرية والنقاوة العاليتين فضلاً عن تجانس مادته (Homogenous) وتماثل خواصه (Isotropic).
2. حساسيته العالية للإشعاع جسيمات ألفا والبروتونات والنيترونات وبطاقات مختلفة فضلاً عن قابليته في تسجيل آثار البرتونات المرتدة ولمدى واسع من الطاقة (20) – (0.1) Me والتي تجعل هذا الكاشف حساساً للنيترونات السريعة.
3. القدرة التحليلية العالية (High Resolution).
4. لا يتأثر بالعوامل الجوية من درجة حرارة ورطوبة عند خزنه لفترات طويلة تحت الظروف الطبيعية، ولا يذوب في المحاليل الكيميائية الكاشطة بل يتحلل من خلال نقصان سمكه أثناء عملية القشط.

ونظراً للخصائص والمميزات التي يمتلكها الكاشف CR-39 فقد استخدم في الكثير من التطبيقات والعديد من المجالات، منها استخدامه في قياس تراكيز اليورانيوم والرادون والثورون في المنازل وفي مواد البناء وفي التربة والمياه والأغذية وفي معاجين الأسنان كما يستخدم في الكشف عن الجسيمات المشحونة كالبروتونات وجسيمات ألفا وأيونات أخرى وكذلك في تسجيل الآثار الناتجة عن الأشعة الكونية

وإيجاد تراكيز اليورانيوم والثور يوم في النماذج الجيولوجية وفي حساب تراكيز الراديوم في الأسنان فضلاً عن حساب تركيز الرصاص pb في أسنان الأطفال[10].

ويعد هذا الكاشف مجساً جيداً للتنبؤ عن الزلازل والهزات الأرضية من خلال قياس مقدار الزيادة في تركيز غاز الرادون المنبعث من التصدعات والشقوق الأرضية الواقعة على خط الزلازل في المدن التي تتعرض للزلازل والهزات.

كما يستخدم الكاشف CR-39 كمرشح دقيق إذ تعرض قطعة رقيقة منه لحزمة من شظايا الانشطار وتقشط بمحلول كيماوي مناسب ولفترة زمنية معينة إذ يخترق هذا المحلول الآثار الكامنة مكوناً ثقوباً دقيقة عبر الكاشف الصلب وبقطر يتراوح بين (10-30) حيث يستخدم هذا الكاشف الدقيق لفصل الخلايا السرطانية من الدم كما يستخدم الكاشف في التصوير الشعاعي الذاتي للجسم بعد حقنه بالنظائر المشعة[9].

(7-3) النيوترونات وأشعة γ الناتجة عن الإنشطار النووي

تنشطر النواة عندما تكون مثارة وغير مستقرة وغالباً ما تكون أمثال هذه الأنوية غنية بالنيوترونات أي ان $\frac{N}{Z} > 1$ مثل U^{236} الناتجة عند قذف يورانيوم – 235 بالنيوترونات وحيث أن هذه النواة ستنشطر الي نواتين أصغر منها فان نسبة $\frac{N}{Z}$ لهاتين النواتين ستساوي غالبا نسبة $\frac{N}{Z}$ للنواة الأم وبالتالي فهي أنوية غير مستقرة أي مشعة تقوم بأطلاق الجسيمات النووية فور تكونها للوصول الي خط الاستقرار[8].

عندما تقوم النواة المركبة بالانشطار الي شظيتين فان كلا منهما غالبا ما تكون مثارة بطاقة عالية تصل الي6 Mev او 8، حيث أن كلاً من هاتين الشظيتين غنية بالنيوترونات وان طاقة ترابط النيوترون في النواة تساوي حوالي 7 Mev فإن هذه الشظايا غالباً ما تنطلق منها نيوترونات تسمى النيوترونات اللحظية وذلك خلال فترة زمنية قصيرة جداً تقع في حدود 10^{-14} ثانية، وقد وجد ان النيوترونات المنطلقة في الانشطار النووي تنقسم الى قسمين:

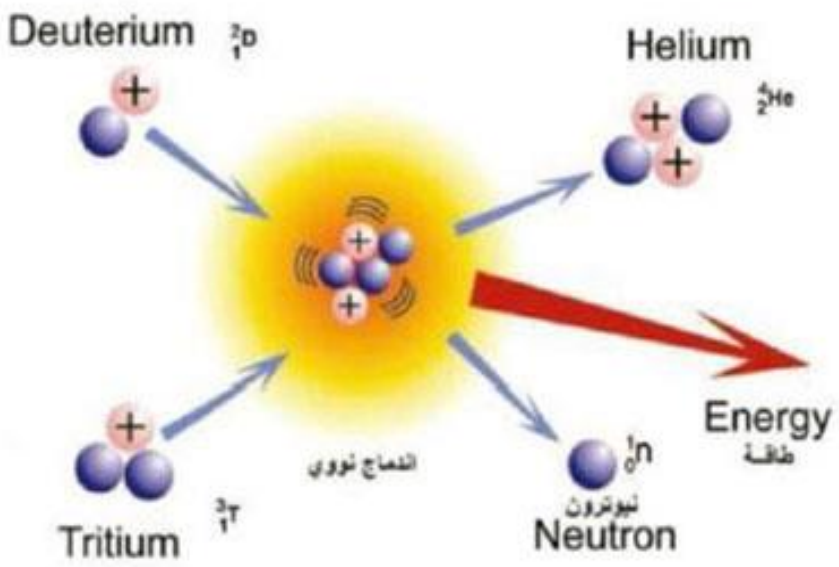
1. نيوترونات لحظية Prompt.
2. نيوترونات متأخرة Delayed.

(8-3) الطاقة المتحررة في تفاعلات الاندماج النووي

تنتج الشمس والنجوم طاقتها من خلال تفاعل الاندماج النووي، فمنذ 4.5 مليارات سنة والشمس تبعث طاقتها في الكون دون توقف، ويتوقع أن تستمر لمدة مشابهة لها إلى أن تستهلك نحو 90% من كمية الهيدروجين عليها ويعتمد تفاعل الاندماج النووي الذي يعرف أيضا بالانصهار النووي على اندماج نواتين خفيفتين لتكوين نواة واحدة أثقل، كأن يتم تعريض خليط من نظيري الهيدروجين التريتيوم والديوتيريوم الحرارة عالية تتجاوز مئة مليون درجة مئوية، حيث يتم دمج جسيمات الوقود وتكوين ذرة هيليوم ونيوترون واحد من كل تفاعل اندماجي، وكميات هائلة من الطاقة الحرارية تفوق بكثير ما ينتجه الانشطار النووي، وهذه الطاقة يتم التخلص منها بواسطة موائع التبريد، أما النفايات الناتجة فهي ذات عمر نصف قصير نسبيا وتختلف عن نفايات الانشطار النووي[5].

يتم إطلاق الطاقة في تفاعل نووي إذا كانت الكتلة الكلية للجسيمات الناتجة أقل من كتلة المواد المتفاعلة الأولية، وللتوضيح بافتراض وجود نواتي المسمى X و a، تتفاعل لتشكل نواتين أخريين Yوb ، يرمزان إلى b→Y و a→X غالبا ما تكون الجسيمات a وb من النوى، إما بروتونات أو نيوترونات، ولكن بشكل عام يمكن أن تكون أي نوى بافتراض أنه لا يوجد أي من الجسيمات متحمس داخليا أي أن كل منها في حالتها الأرضية، يتم تعريف كمية الطاقة المسماة قيمة) لهذا التفاعل على أنها Q=(mx ma- mb my) c2 حيث m تشير الحروف إلى كتلة كل جسيم و c هي سرعة الضوء، عندما تكون قيمة الطاقة (موجبة)، يكون التفاعل طاردًا للطاقة، وعندما تكون (سالبة)، يكون التفاعل مسببًا للطاقة أي يمتص الطاقة عندما يتم الحفاظ على كل من إجمالي عدد البروتون والعدد الكلي للنيوترونات قبل وبعد التفاعل كما في تفاعلات (D-T)، يمكن التعبير عن قيمة Q من حيث طاقة الربط B لكل جسيم على النحو التالي (Q =(By + Bb - Bx –Ba تفاعل الاندماج (D-T) له قيمة Q موجبة تبلغ (2.8×10 Joel)، كما أن تفاعل الاندماج (H-H) أيضا طارد للطاقة، بقيمة Q تبلغ (6.7×10^{14} Joel)، ولتكوين فكرة عن هذه الأرقام، يمكن التفكير في أن (طنا متريا واحدا (1000) كجم، أو ما يقرب من (2205) رطلاً) من الديوتيريوم يحتوي على ما يقرب من(3×1032) ذرة، وإذا تم استهلاك طن واحد من الديوتيريوم من خلال تفاعل الاندماج مع التريتيوم، فإن الطاقة المنبعثة ستكون(8.4×1020 Joel)، كما

يمكن مقارنة ذلك بمحتوى الطاقة لطن واحد من الفحم أي (2.9×1010 Joel) جول، بعبارة أخرى طن واحد من الديوتيريوم يعادل طاقة ما يقرب من 29 مليار طن من الفحم. يعتبر كل من إنتاجية الطاقة للتفاعل بين النوى ومعدل مثل هذه التفاعلات مهمين، حيث إن هذه الكميات لها تأثير عميق في المجالات العلمية مثل الفيزياء الفلكية النووية وإمكانية الإنتاج النووي للطاقة الكهربائية[5].



الشكل (3-2) الطاقة المتحررة في تفاعلات الاندماج النووي[8].

(3-9) الطاقة المتحررة في تفاعلات الانشطار النووي

تُعدّ تفاعلات الانشطار النووي من أهم المصادر الاصطناعية لإنتاج الطاقة، إذ تعتمد عليها المفاعلات النووية في توليد الكهرباء في العديد من دول العالم ويقوم مبدأ الانشطار النووي على انقسام نواة ثقيلة غير مستقرة، مثل اليورانيوم-235 أو البلوتونيوم-239، إلى نواتين أخف، عند امتصاصها نيوترونًا بطيئًا، مما يؤدي إلى تحرر كميات كبيرة من الطاقة مصحوبة بانبعاث نيوترونات إضافية يمكنها بدورها إحداث تفاعلات انشطارية أخرى، فيما يُعرف بالتفاعل المتسلسل وقد تم اكتشاف هذه الظاهرة في أواخر ثلاثينيات القرن العشرين، ومنذ ذلك الحين استُغلت في التطبيقات السلمية والعسكرية[6].

يعتمد تفاعل الانشطار النووي، كما في حالة اليورانيوم-235، على امتصاص النواة لنيوترون لتصبح نواة غير مستقرة (U-236)، ثم تنشطر إلى نواتين متوسطتي

الكتلة مثل الباريوم والكريبتون، إضافة إلى انطلاق 2 أو 3 نيوترونات حرة، وكمية كبيرة من الطاقة الحرارية ويمكن تمثيل أحد هذه التفاعلات بالشكل الآتي:

$$U\text{-}235 + n \rightarrow Ba + Kr + 3n + Energy$$

تنتج الطاقة في هذا التفاعل نتيجة نقصان الكتلة، إذ تكون الكتلة الكلية للنواتج أقل من الكتلة الكلية للمواد المتفاعلة، ويتحول هذا الفرق في الكتلة إلى طاقة وفق معادلة أينشتاين[7]:

$$E = mc^2$$

وللتوضيح، إذا افترضنا وجود جسيمين ابتدائيين X و a (يمثلان النواة الثقيلة والنيوترون)، يتفاعلان لتكوين نواتج Y و b، فإن الطاقة المنطلقة من التفاعل تُعطى بالعلاقة[8]:

$$Q = (m_x + m_a - m_Y - m_b)\, c^2$$

حيث تمثل m كتل الجسيمات المختلفة و c سرعة الضوء وعندما تكون قيمة Q موجبة يكون التفاعل طاردًا للطاقة، كما هو الحال في تفاعلات الانشطار، أما إذا كانت سالبة فيكون التفاعل ماصًا للطاقة ويمكن أيضًا التعبير عن هذه الطاقة بدلالة طاقة الربط النووي[9]:

$$Q = (B_Y + B_b - B_x - B_a)$$

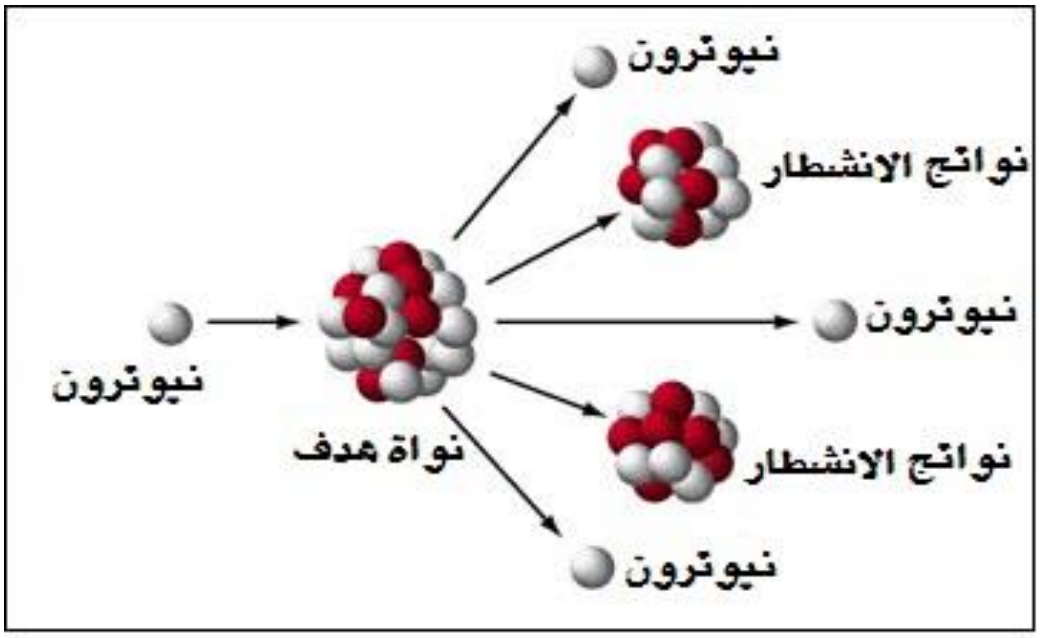
حيث تمثل B طاقة الربط لكل نواة ويُلاحظ أن نوى العناصر المتوسطة (الناتجة من الانشطار) تمتلك طاقة ربط أعلى لكل نوكليون مقارنة بالنوى الثقيلة، وهذا ما يفسر انطلاق الطاقة.

تبلغ الطاقة المتحررة من انشطار نواة واحدة من اليورانيوم-235 حوالي (200 MeV)، أي ما يعادل تقريبًا (3.2×10^{-11})جول لكل تفاعل وعلى الرغم من أن هذه الكمية تبدو صغيرة على مستوى النواة الواحدة، إلا أنها تصبح هائلة عند التعامل مع أعداد كبيرة من الذرات فعلى سبيل المثال، يحتوي 1 كغم من اليورانيوم-235 على نحو (2.6×10^{24}) نواة، وإذا انشطرت جميعها، فإن الطاقة الناتجة تصل إلى حوالي(8×10^{13})جول، وهي طاقة تعادل احتراق آلاف الأطنان من الفحم[10].

وللمقارنة، فإن الطاقة الناتجة من انشطار 1 كغم من اليورانيوم-235 تعادل تقريبًا الطاقة الناتجة من احتراق نحو 3000 طن من الفحم، مما يوضح الكثافة العالية جدًا للطاقة في الوقود النووي مقارنة بالوقود الأحفوري.

كما أن من أهم خصائص تفاعلات الانشطار إمكانية التحكم فيها داخل المفاعلات النووية باستخدام مواد ماصّة للنيوترونات (مثل قضبان التحكم)، مما يسمح بإنتاج طاقة كهربائية بشكل مستمر وآمن نسبيًا إلا أن هذه التفاعلات تُنتج نفايات نووية ذات أعمار نصف طويلة، تتطلب عناية خاصة في التخزين والمعالجة، بخلاف تفاعلات الاندماج التي تتميز بنفايات أقل خطورة نسبيًا[11].

ويُعد كل من مقدار الطاقة المنبعثة من التفاعل ومعدل حدوث التفاعلات (التفاعل المتسلسل) عاملين حاسمين في تصميم وتشغيل المفاعلات النووية، حيث يؤثران بشكل مباشر في كفاءة إنتاج الطاقة وإمكانية استخدامها في التطبيقات السلمية، فضلًا عن دورهما الكبير في مجالات الفيزياء النووية والتطبيقات الهندسية المرتبطة بها[12].



الشكل (3-3) الطاقة المتحررة في تفاعلات الانشطار النووي[7].

(3-10) مقارنة بين الطاقة المتحررة في تفاعلات الاندماج والانشطار النووي

تُعدّ كل من تفاعلات الاندماج النووي والانشطار النووي من أهم العمليات التي تتحرر فيها الطاقة النووية، إلا أن آلية إنتاج هذه الطاقة ومقدارها وطبيعة نواتجها تختلف بشكل جوهري بين النوعين[13].

من حيث طبيعة التفاعل، يعتمد الاندماج النووي على اتحاد نواتين خفيفتين (مثل الديوتيريوم والتريتيوم) لتكوين نواة أثقل (كالهيليوم)، في حين يقوم الانشطار

النـووي علـى انقسـام نـواة ثقيلـة (مثـل اليورانيـوم-235) إلـى نـواتين متوسـطتي الكتلـة وبالتالي فـإن الانـدماج يمثـل انتقـالًا نحـو نـوى أكثـر اسـتقرارًا عبـر الزيـادة فـي الكتلـة، بينمـا الانشطار يمثل تفكك نواة غير مستقرة إلى نوى أكثر استقرارًا[9].

أمـا مـن حيـث آليـة انطـلاق الطاقـة، فـإن كِـلا التفـاعلين يعتمـدان علـى مبـدأ نقـص الكتلة وتحولها إلى طاقة وفق العلاقة:

$E = mc^2$

إلا أن الفـرق يكمـن فـي أن الانـدماج يحـرر طاقـة أكبـر لكـل وحـدة كتلـة مقارنـة بالانشـطار، بسـبب زيـادة طاقـة الـربط لكـل نوكليـون فـي النـوى الناتجـة بشـكل أكبـر مـن تلك في النوى المتفاعلة.

فيمـا يتعلـق بــ كميـة الطاقـة المتحـررة، فـإن تفاعـل الانـدماج (D-T) يحـرر طاقـة تقـارب (MeV 17.6) لكـل تفاعـل، بينمـا يحـرر انشـطار نـواة اليورانيـوم-235 حـوالي (MeV 200) لكـل تفاعـل ورغـم أن طاقـة الانشـطار لكـل تفاعـل مفـرد أكبـر، إلا أن الانـدماج يكـون أكثـر كفـاءة عنـد المقارنـة بالنسـبة لوحـدة الكتلـة، إذ إن الوقـود المسـتخدم (الهيدروجين ونظائره) أخف بكثير من الوقود الانشطاري[10].

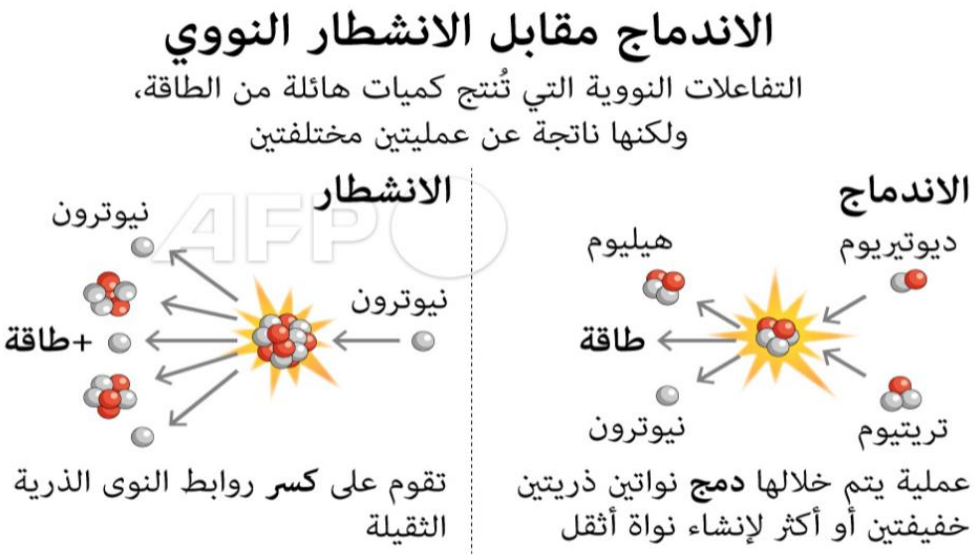
أمـا علـى مسـتوى الإنتـاج الكلـي للطاقـة، فـإن طنًـا واحـدًا مـن الـديوتيريوم يمكـن أن ينـتج طاقـة تعـادل عشـرات مليـارات الأطنـان مـن الفحـم، وهـي أعلـى بكثيـر مـن الطاقـة الناتجـة عـن نفـس الكتلـة مـن الوقـود الانشـطاري، ممـا يجعـل الانـدماج مصـدرًا أكثـر كثافـة للطاقة من حيث الكتلة.

مـن ناحيـة شـروط حـدوث التفاعـل، يتطلـب الانـدماج درجـات حـرارة وضـغوطًا هائلـة (تتجـاوز 100 مليـون درجـة مئويـة) للتغلـب علـى قـوى التنـافر الكهروسـتاتيكي بـين النـوى، لـذلك يحـدث طبيعيًـا فـي النجـوم ويصـعب تحقيقـه صـناعيًا. فـي المقابـل، يمكـن إجـراء الانشـطار فـي ظـروف يمكـن الـتحكم بهـا نسـبيًا داخـل المفـاعلات النوويـة باسـتخدام نيوترونات بطيئة.

أمـا مـن حيـث الـتحكم فـي التفاعـل، فـإن الانشـطار يتميـز بإمكانيـة السـيطرة عليـه عبـر التفاعـل المتسلسـل باسـتخدام قضـبان الـتحكم، ممـا يجعلـه مناسـبًا لإنتـاج الطاقـة الكهربائيـة حاليًـا. بينمـا لا يـزال الـتحكم فـي تفـاعلات الانـدماج تحـديًا علميًـا وتقنيًـا كبيـرًا، رغم التقدم في مفاعلات الاندماج التجريبية.

وفيما يخص النفايات النووية، فإن الانشطار ينتج نفايات مشعة ذات أعمار نصف طويلة وخطورة بيئية عالية، تتطلب تخزينًا طويل الأمد. في حين أن الاندماج ينتج نفايات أقل خطورة وذات أعمار نصف أقصر نسبيًا، مما يجعله أكثر أمانًا من الناحية البيئية[11].

وأخيرًا، من حيث التطبيقات العملية، يُستخدم الانشطار حاليًا على نطاق واسع في إنتاج الطاقة الكهربائية وفي الصناعات النووية، بينما لا يزال الاندماج في طور البحث والتطوير، مع آمال كبيرة في أن يكون مصدر الطاقة المستقبلي النظيف



والأمن[12].

الشكل (3-4) يوضح مقارنة بين الطاقة المتحررة في تفاعلات الاندماج والانشطار النووي[8].

المصادر والمراجع

[1]- الطاقة الذرية د. خضير عبد العباس حمزه _ د غسان هاشم الخطيب الطبعة 1989.
[2]- (الفيزياء النووية) د. محمد شحاته الدغمة و أ. د علي محمد جمعه.
[3]- الإنسان والبيئة والتلوث البيئي (د. صالح وهبي).
[4]- تلوث البيئة والإشعاع والأمان د . محمد أحمد جمعه مكتبة الخريجي -الرياض عام 1985.
[5]- عفراء محمد النعيم إبراهيم دراسة مقارنه بين المفاعلات النووية الانشطارية والمفاعلات النووية الاندماجيه، بحث تكميلي لنيل درجة الماجستير في علوم الفيزياء النووية، جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا ، كلية الدراسات العليا، 2017.
[6] الاندماج النووي، جوزف فايس، ترجمة زينا مغربل مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية، 2014 السعودية _KACST
[7] الاندماج النووي، إدوارد مورس، سبرينغر، موسوعة بريتانيكا، 2018.
[8] عذاب طاهر الكناني، الفيزياء النووية والطبية، دار الفجر، 2001.
[9] محمد شحادة الدغمة، علي محمد جمعة، الفيزياء النووية، مكينة الفلاح، 2000.
[10] أحمد الناغي، محمد نبيل يس البكري، الفيزياء النووية، دار الفكر العربي،2005.
[11] جوزيف فايس زينا مغربل أبو بكر سعد الله، الانشطار النووي، الرياض الطبعة الأولى، 2003.
[12] محمد حبيب بركات، اساسيات الفيزياء النووية، جامعة 8 ماي بريطانيا، الطبعة الأولى، 2006.
[13] حمدي السيد، الأمان النووي والحماية الفيزيائية للمواد والمنشآت النووية القاهرة، الطبعة الأولى، 2010.

Abstract :

This research provides a comprehensive study of the structure of the atom and the nucleus, along with the associated nuclear phenomena, with a particular focus on nuclear fission and fusion as the primary sources of nuclear energy. The study begins with an explanation of atomic structure, where the atom consists of a nucleus containing positively charged protons and electrically neutral neutrons, surrounded by negatively charged electrons. It also discusses the concepts of atomic number, mass number, Isotopes, as well as nuclear forces and binding energy that maintain nuclear stability.

The research further addresses radiation and Its types, classifying it into Ionizing and non-ionizing radiation, while explaining the characteristics of each type and their environmental and biological effects. Special emphasis is placed on Ionizing radiation due to Its potential to cause serious cellular and genetic damage.

The second chapter focuses on nuclear fission, defined as the splitting of a heavy nucleus such as Uranium-235 into lighter nuclei, accompanied by the release of a large amount of energy and neutrons. This process can lead to a chain reaction that Is controllable within nuclear reactors for the purpose of generating electrical energy. The study also examines the components, operation principles, types, advantages, and disadvantages of nuclear reactors.

The third chapter discusses nuclear fusion, which involves the combination of light nuclei such as hydrogen isotopes to form heavier nuclei, releasing enormous amounts of energy exceeding that of fission. Fusion is identified as the primary energy source of the sun and stars. The chapter also explores the conditions required for fusion, the Influencing factors, and the challenges associated with Its practical implementation.

Finally, the research presents a comparison between nuclear fission and fusion In terms of energy yield, reaction conditions, controllability, and environmental impact. It concludes that fusion represents a promising future source of clean energy despite the technical challenges, whereas fission Is currently widely utilized for power generation.