الفصل السادس
الانشطار النووي

مقدمة

كان العالم فيرمي (Enrico Fermi) في العام 1934 يقوم ببعض التجارب للحصول على نظائر العناصر عن طريق قذف النوى بالنيوترونات. وعندما وصل إلى عنصر اليورانيوم (العنصر الأخير في الجدول الدوري في ذلك الوقت). توقع أن قذف العنصر بالنيوترونات سيؤدي إلى وجود نواة غير متسقرة تقوم بإطلاق جسيمات بيتا وبالتالي ازدياد العدد الذري من 92 إلى 93 وانتاج عنصر جديد في الجدول الدوري, ولكنه لم يحصل على ما توقعه ولم يستطع التعّرف على نواتج التفاعل.

واستمرت الأبحاث والدراسات من العام 1935 إلى العام 1938 حيث قام عالم كيميائي ألماني يسمى إدا نوداك (Ida Noddack) بالتعرف على نواتج التفاعل وأوضح أن نواة اليورانيوم انشطرت إلى نواتين متوسطتي الكتلة. وقد أكدت الدراسات صحة ما افترضه هذا العالم . وبذلك يكون الإنشطار النووي:

"انقسام نواة ثقيلة إلى نواتين متوسطتي الكتلة, وانتاج كميات هائلة من الطاقة نتيجة تفاعل نووي"

ولإحداث الإنشطار تقذف النواة الثقيلة مثل $^{235}_{92}U$ يورانيوم . 235 بجسيمات خفيفة نسبياً مثل النيوترونات التي تعد أفضل القذائف لأنها لا تحمل شحنة.

ويمكن تمثيل الإنشطار النووي لليورانيوم بصورة عامة بالمعادلة والشكل:

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \longrightarrow Y + Y + ^{1}_{0}n + \text{طاقة}$$

ولا ينتج دائماً نفس نواتج التفاعل إلا أن العدد الذري للأنوية Y , y يتراوح بين 36 و 60 ومن الانشطارات الشائعة الحدوث:

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \longrightarrow ^{141}_{56}Ba + ^{92}_{36}Kr + 3\,^{1}_{0}n + \text{طاقة}$$

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \longrightarrow {}^{144}_{56}Ba + {}^{89}_{36}Kr + 3\,{}^{1}_{0}n + \text{طاقة}$$

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \longrightarrow {}^{140}_{54}Xe + {}^{94}_{38}Sr + 2\,{}^{1}_{0}n + \text{طاقة}$$

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \longrightarrow {}^{132}_{50}Sn + {}^{101}_{42}Mo + 3\,{}^{1}_{0}n + \text{طاقة}$$

وفي التفاعلات السابقة فإن مجموع كتل المواد الناتجة من التفاعل أقل من مجموع كتل المواد الداخلة في التفاعل مما يؤكد أن هذا التفاعل منتج للطاقة.

مثال(1):

حدد كمية الطاقة الناتجة في التفاعل:

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \longrightarrow {}^{141}_{56}Ba + {}^{92}_{36}Kr + 3\,{}^{1}_{0}n + \text{طاقة}$$

الحل:

كتل المواد الداخلة في التفاعل:

ك النيوترون = 1.008665 و.ك.ذ

ك اليورانيوم = 235.043933 و.ك.ذ

ك النيوترون + ك اليورانيوم = 236.052598 و.ك.ذ

كتل المواد الناتجة من التفاعل =

3 × ك النيوترون = 3.025995 و.ك.ذ

ك الباريوم = 140.913740 و.ك.ذ

ك الكريتون = 91.925765 و.ك.ذ

---

3 × ك النيوترون + ك الباريوم + ك الكريتون = 235.865500 و.ك.ذ

D ك = الفرق بين مجموع الكتل الداخلة والناتجة

= 235.865500 . 236.052598

= 0.187098 و.ك.ذ

الطاقة الناتجة = 0.187098 × 931 = 174 مليون الكترون فولت

وهذا هو مقدار الطاقة الناتجة من انشطار نواة واحدة من اليورانيوم وهو مقدار هائل وتصل الطاقة الناتجة إلى 200 مليون الكترون فولت. وذلك لأن النوى الناتجة هي نوى مشعة تقوم بإطلاق طاقة تصل إلى 20 مليون الكترون فولت للوصول إلى مرحلة الإستقرار.

ولتفسير ما يحدث أثناء عملية انشطار النواة, افترض العالمان بور وويلر (Neils Bohr & John Wheeler) نموذج "قطرة السائل".

ويفترض هذا النموذج تماثلاً بين النواة وبين قطرة سائل مشحونة, حيث تقوم نواة اليورانيوم باصطياد النيوترون وتصبح نواة مستثارة تهتز بعنف مما يؤدي إلى حدوث تغير في شكلها, وفي هذا الشكل الجديد (كما هو موضح) فإن القوى النووية تصبح أضعف مما هي عليه أصلاً ويبدأ تأثير قوى التنافر الكهربائية حيث تنقسم النواة إلى قسمين وينتج المزيد من النيوترونات والطاقة الهائلة.

والنيوترونات المسببة للإنشطار هي نيوترونات بطيئة وهي تمتلك أكبر احتمال للإصطدام بالنواة وإحداث التفاعل.

تعريف الانشطار النووى Nuclear fission

فى ضوء ماسبق، يعرف الانشطار النووى بأنه عملية انشطار نواة ذرة ما إلى قسمين أو اكثر وبتحول بهذه العملية مادة معينة إلى مادة أخرى وبنتج عن عملية الأنشطار هذه نيوترونات وفوتونات حرة عالية الطاقة(بالأخص أشعة جاما) ودقائق نووية مثل دقائق ألفا alpha particles ودقائق بيتا beta particles. ويؤدي انشطار العناصر الثقيلة إلى تكوين كميات ضخمة من الطاقة الحرارية والاشعاعية.

ويعتبر كل من اليورانيوم-235 أو البلوتونيوم-239 من أكثر المواد التي تستخدم كوقود نووي. 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.

وفي المفاعلات النووية التي تستخدم لإنتاج الطاقة الكهربائية يُستعمل اليورانيوم-235 أو البلوتونيوم-239 بنسبة 5.3 % في مخلوط أكسيد اليورانيوم لإنتاج الطاقة. ويحتاج مفاعل نووي كبير يعمل بقدرة 1000 ميجاوات إلى نحو 100 طن من أكسيد اليورانيوم تكفيه لمدة ثلاثة سنوات. إلا أن الطريقة الاقتصادية لتشغيل المفاعل النووي تتطلب إيقاف تشغيل المفاعل كل سنة لمدة عدة أسابيع، يجري خلالها استبدال ثلث كمية الوقود النووي المستهلك بوقود جديد، وكذلك لإجراء أعمال الصيانة والتفتيش عن أي خلل قد يحدث ومعالجة الخلل.

الشروط الواجب توافرها لحدوث تفاعل أنشطاري

1- عنصر قابل للأنشطار، مثل: اليورانيوم-235 أو البلوتونيوم-239.
2- الحجم الحرج: هو حجم المادة القابلة للأنشطار، أو الحجم الذي تنشطر عنده المادة المشعة.
3- الكتلة الحرجة: هى كتلة المادة القابلة للأنطار، أو الكتلة التي تبدأ عندها المادة فى الأنشطار.
4- مادة مهدأة للتفاعل: وهي مادة مهمتها التحكم في سرعة التفاعل، مثل: الكادميوم والبورون.
5- مصدر للنيوترونات: مثل، خليط من الراديوم والبيرليوم.

تفاعلات الانشطار النووي

وهو إنشطار نواة ذرة مادة الوقود النووي (نوى الذرات الثقيلة) لكي تعطي نواتين مجموع كتلتيهما أقل من كتلة نواة الذرة الأم المنشطرة ويتحول الفرق بين كتلة المادة المنشطرة وكتلة نواتج الإنشطار (مقدار نقص الكتلة) إلى طاقة حرارية وطاقة إشعاعية.

مثال: إنشطار نوى اليورانيوم 235 إلى السيزيوم 140 والروبيديوم 93

$$U235 + n1 \text{ -----> } Cs140 + Rb93 + energy + (Rays)$$

طاقة تفاعل الإنشطار النووي(Fission Reaction)

أدى اكتشاف النيترون إلى ظهور اتجاه جديد في الأبحاث النووية , حيث يترافق إمتصاص النيترون من قبل معظم نويات العناصر إلى ما يسمى بالأسر الإشعاعي , وعندها تنطلق طاقة التهييج على شكل أشعة غاما . γ

ويلاحظ في عدد من العناصر الثقيلة وخاصة اليورانيوم والبلوتونيوم ظاهرة أخرى وهي انشطار النواة إلى شظيتين وتدعى هذه العملية بانشطار النواة, ويرافق عملية الإنشطار هذه انطلاق طاقة تقدر بـ 200 ميغا إلكترون فولت لكل انقسام نواة, وقد أظهرت عملية انشطار اليورانيوم أن النيوترونات الحرارية تشطر اليورانيوم 235 فقط , بينما يمتص اليورانيوم 238 الأثقل النيترونات الحرارية دون انشطار , وتعمل النيترونات الحرارية على شطر نويات البلوتونيوم 239 وكذلك اليورانيوم 233 أيضاً.

آلية الإنشطار النووي

ونوضح فيما يلي الآلية التي تتم فيها عملية انشطار نواة اليورانيوم 235 :

المرحلة الأولى: حيث يتم في اقتراب النيترون من نواة اليورانيوم 235 .

المرحلة الثانية: وفيها تتشكل نواة اليورانيوم 236 المتهيجة, وهنا عند امتصاص النيترون من قبل النواة تنتشر طاقة التهيج (Eex) والتي هي حاصل جمع طاقة ربط النيترون بالنواة (Enb) وطاقة النيترون الحركية (Env)

أي أن:

$$Eex = Enb + Env$$

وتتميز نواة اليورانيوم 235 بأنها من أجل طاقة حركية ضعيفة جداً للنيترون فإن (Env= 0) تكون طاقة ربط النيترون أكبر بكثير من القيمة الحدية (العتبة)، وتدعى عندها الطاقة الفعالة أو طاقة التنشيط.

وبالتالي يمكن تعريف الطاقة الفعالة (طاقة التنشيط) أو الحد الكموني للتفاعل بأنها عبارة عن الطاقة الضرورية المكتسبة من قبل نواة اليورانيوم والتي تعاكس عمل القوى النووية وتؤدي بالتالي إلى شطر النواة إلى شطرين أو شظيتين، وتأتي هذه الطاقة من النيترون المقذوف على النواة والذي يتمتع بطاقة حركية (Env= 0)

المرحلة الثالثة

تؤدي طاقة التهيج في المرحلة الثانية للتفاعل إلى تشوه النواة وتطاولها, ثم تمر النواة في حركة اهتزازية (شبيهة بقطرة ماء), ونتيجة لذلك تتغلب قوى التدافع الإلكتروستاتيكي (الكهرباء الساكنة) للشحنات الموجبة للبروتونات في النواة على قوى التجاذب النووي وهذا بدوره يؤدي إلى انشطار النواة

المرحلة الرابعة

وفيها تظهر شظايا الإنشطار النووي، وهي تحتوي على معظم الكتلة الأساسية للنواة وتتضمن هذه الشظايا القسم الأكبر من الطاقة المنطلقة (166 ميغا إلكترون فولت من الطاقة الكلية 200 ميغا إلكترون فولت), وهذه هي طاقتها الحركية .ويظهر أيضاً أشعة غاما الكونية وإثنان من النيترونات n التي تنطلق من عملية انشطار النواة, ويمكن لهذه النيترونات المنطلقة أن تؤدي إلى انشطار نويات جديدة من اليورانيوم 235 أو البلوتونيوم 239 فيما يعرف بتفاعلات الإنشطار النووي المتسلسلة.

وتتوزع الطاقة المتحررة نتيجة انقسام النواة بين الأشكال المختلفة من الشظايا والجسيمات على الشكل التالي:

. الطاقة الحركية لشظايا الإنشطار ---------- Mev166

. النيترونات ---------- Mev 5

. أشعة غاما γ اللحظية ---------- Mev7

. أشعة غاما γ لنواتج الإنشطار ---------- Mev7

. طاقة جسيمات بيتا ---------- Mev5

. نيترينو ---------- Mev10

المجموع الكلي للطاقة الناجمة عن إنشطار نواة ذرة يورانيوم 235 واحدة 200 Mev

تفاعلات الإنشطار النووي المتسلسل(Chain Fission Reaction)

قام العالم الأمريكي من أصل إيطالي وهو (إنريكو فيرمي) في عام 1934 بقذف اليورانيوم بالنيترونات وهو يتوقع أنه سيحصل على نظير آخر لليورانيوم, حيث إن اليورانيوم هو آخر العناصر الطبيعية في الجدول الدوري. وظن أن الناتج هو عنصر صنعي جديد يحمل الرقم الذري 93 أو 94, ولكن التحاليل لم تبين ذلك, وكانت الحيرة بالغة لفترة ما حتى قام بحلها عالمان ألمانيان هما (هان وسترتسمان) عندما تبينا وجود أحد نظائر الباريوم (Ba) ذي الرقم الذري 56 ونظير الكريبتون (Kr) ذي الرقم الذري 36, وهو من الغازات الخاملة في نواتج التفاعل.

وبعد التدقيق والأخذ بعين الإعتبار أن مجموع كل من العدد الذري للباريوم والكريبتون هو 92 وهو العدد الذري لليورانيوم, بيينا أن الذي حدث بالفعل هو أن نواة اليورانيوم قد انشطرت إلى شطرين وتوزعت بروتوناتها على هذين الشطرين

فحصل أحدهما على 56 بروتون فكان الباريوم وحصل الآخر على 36 بروتون فكان الكريبتون, وأن مقدار الطاقة المنطلقة من هذا التفاعل أكبر من التفاعلات النووية الأخرى, والأهم من هذا كله أن هذا التفاعل يحمل في طياته إمكانية جعله تفاعلاً متسلسلاً, إذاً فقد أصبح اليورانيوم يشكل مشروع وقود نووي.

فما هو الأمر الذي يجعل من تفاعل الإنشطار النووي تفاعلاً متسلسلاً (أي مستمراً) ؟

أن عدد النيوترونات في النواة يتزايد مع تزايد الرقم الذري للعنصر حتى نصل إلى اليورانيوم (وهنا سنسمي عدد النيوترونات الذي يزيد عن عدد البروتونات في أي نواة بالنيوترونات الزائدة، فنجد أنه في نواة ذرة اليورانيوم 235 يوجد 92 بروتون و143 نيوترون، أي أنه يوجد 51 نيوترون زائدة أي حوالي 55 % من الرقم الذري.

فما علاقة هذه النيوترونات الزائدة في تفاعلات الإنشطار النووي المتسلسل ؟

إن إنشطار نواة اليورانيوم يؤدي إلى تكوين شطرين يحتويان على نيوترونات زائدة بنسبة تقل عن 55 %, أي أن مجموع ما يحصل عليه الشطرين الناتجين من النيوترونات حتى الإشباع أقل من 143 نيوترون بـ 2إلى 3 نيوترونات وهذه النيوترونات تبقى حرة, تسمى هذه النيوترونات الحرة (بنيوترونات الإنشطار أو النيترونات الحرارية), فإذا كانت الظروف ملائمة سيقوم كل نيوترون بإحداث تفاعل انشطاري آخر في أنوية مجاورة أخرى من اليورانيوم وبالتالي سينتج عن هذه الإنشطارات الجديدة أيضاً نيوترونات حرة أخرى ستقوم أيضاً بشطر نوى يورانيوم أخرى وهكذا دواليك حتى نفاذ كمية اليورانيوم, ويصبح تفاعل الإنشطار متسلسلاً ومتسارعاً بشكل كبير خلال زمن قصير جداً مع انطلاق طاقة هائلة وإذا لم تكن هناك وسيلة للتحكم فيه فيمكن أن يصل إلى مرحلة الإنفجار وهذا ما يحصل في

القنبلة النووية، ومن هذه الخاصية التي تميز التفاعلات النووية الإنشطارية المتسلسلة كان السعي الدؤوب لإيجاد الوسيلة للتحكم بالتفاعل المتسلسل حتى لا يتسارع ويصل إلى مرحلة الإنفجار, وكذلك إيجاد وسيلة تستطيع وقف التفاعل إذا ما استدعت الضرورة لذلك الأمر الذي اقتضى من علماء الفيزياء النووية إختراع وتطوير تكنولوجيا نووية فيما يعرف الآن باسم المفاعلات النووية.

مجالات الانشطار النووي

تستعمل عملية الانشطار النووى لتزويد الوقود لمولدات الطاقة النووية، وتحفيز انفجار الأسلحة النووية، واذا امكن اخضاع عنصر ثقيل إلى سلسلة من الانشطارات النووية فان ذلك سيؤدى إلى تكوين ما يسمى بالوقود النووى. ويتم تحفيز هذه السلسلة المتاعقبة من الأنشطارات النووية فى المفاعلات النووية. ويعتبر اليورانيوم-235 والبلوتونيوم- 239 من أكثر أنواع الوقود النووى استعمالا. تبلغ كمية الطاقة الناتجة من كمية معينة من الوقود النووي ملايين اضعاف الطاقة الناتجة من نفس الكمية من البنزين.

الفرق بين الانشطار النووي والتحلل الإشعاعي

يختلف الانشطار النووي عن عملية التحلل الإشعاعي من ناحية انه يمكن السيطرة على عملية الأنشطار النووي خارجيا. تقوم النيوترونات الحرة الناتجة من كل عملية انشطار إلى تحفيز انشطارات اخرى التي بالتالى تؤدي إلى تكوين نيوترونات حرة اخرى وتستمر هذه السلسلة من الفعاليات مؤدية إلى إنتاج كميات هائلة من الطاقة.

يطلق على نظائر العناصر الكيميائية التي لها القدرة على تحمل هذه السلسلة الطويلة من الأنشطارات النووية اسم الوقود النووي. من أكثر أنواع الوقود النووي استعمالا هي اليورانيوم ذو كتلة ذرية رقم 235 (يورانيوم-235) وبلوتونيوم ذو كتلة ذرية رقم 239 (بلوتونيوم-239). وهذين العنصرين ينشطران بصورة بطيئة جدا تحت الظروف الطبيعية التي تسمى بـ الانشطار التلقائي التلقائيspontaneous fission ، وتأخذ هذه العملية التلقائية مايقارب 550

مليون سنة على أقل تقدير. ولكن، عملية الانشطار هذه يتم تحفيزها والإسراع بها في المفاعلات النووية.
تنتج عادة عن سلسلة من الأنشطارات في المواد المذكورة أعلاه طاقة حركية هائلة تقدر بحوالي المئات من الكترون فولت. وللتوضيح فإن 0.03 إلكترون فولت قادر على تدفئة منزل صغير. يرجع السبب الرئيسي في تفضيل اليورانيوم لاجراء عملية الأنشطار النووي عليه لغرض تصنيع الأسلحة النووية إلى كون النظير 235 لليورانيوم أو مايسمى يورانيوم-235 خفيف الكتلة ويمكن تحفيز انشطاره بسهولة بواسطة تسليط حزمة من النيوترون عليه. وبعد الأنشطار يتولد 2.5 نيوترون وهذه الكمية من النيوترون كافية لاستمرار عمليات انشطار متسلسلة ومتعاقبة.

التفاعل المتسلسل Chain Reaction

لعلك لاحظت أن انشطار نواة اليورانيوم 235 ينتج مجموعة من النيوترونات (اثنين أو ثلاثة), وأن ما سبب انشطار النواة هو نيوترونات بطيئة. وبذلك يمكن وتحت شروط معينة أن تتسبب النيوترونات الناتجة من التفاعل في مزيد من الإنشطارات المتتالية والتي تنتج قدراً هائلاً من الطاقة. وهذا ما يعرف بالتفاعل المتسلسل.
وفي الأسلحة النووية يتم إحداث تفاعل متسلسل غير متحكم فيه, مما ينتج طاقة هائلة ومدمرة وتؤدي إلى حدوث أضرار عديدة, أما إذا تم التحكم في عدد النيوترونات المشاركة في التفاعل فإنه يكون بالإمكان التحكم في الطاقة الناتجة والسيطرة عليها واستغلالها في العديد من الأغراض, وهذا ما يحدث فعلاً في المفاعل النووي.

المشاكل التي تعترض التفاعل المتسلسل:

ومن المشاكل التي تعترض التفاعل المتسلسل، ما يلي:
1. إذا كانت كتلة العنصر المستخدم في التفاعل أقل من كتلة معينة تسمى "الكتلة الحرجة" فإن كثير من النيوترونات ستفلت دون التفاعل مع أنوية جديدة.
2. النيوترونات الناتجة عن الإنشطار هي نيوترونات متوسطة السرعة, ولذا يلزم تقليل سرعتها حتى تستطيع القيام بعمليات انشطار جديدة.

3. يحتوي اليورانيوم الطبيعي على 99.3 % من $^{238}_{92}U$ (والذي يمتص النيوترونات المتوسطة السرعة دون حدوث انشطار) وعلى 0.7% من $^{238}_{92}U$ اللازم لعملية الإنشطار وللحصول على تفاعل متسلسل في انفجار نووي يلزم زيادة تركيز $^{235}_{92}U$ إلى 50% في حين يلزم تركيزه إلى 3.6 % في المفاعلات النووية.

القنبلة النووية Atomic Bomb

لبناء قنبلة ذرية يلزم أن تكون كتلة اليورانيوم 235 مساوية للكتلة الحرجة اللازمة لبدء التفاعل المتسلسل. وقد قامت الولايات المتحدة الامريكية ببناء أول قنبلة ذرية انظر الشكل والتي أطلق عليها "الرجل النحيف-Thin man"، والتي أسقطت على هيروشيما في 5 آب (أغسطس) 1945م. وهذا النوع من القنابل يتكون من قطعتين من اليورانيوم, كل منهما كتلته أقل من الكتلة الحرجة, وتُطلق أحداهما (الصغرى) على شكل قذيفة توجه نحو الكبرى وتنتج الكتلة الحرجة اللازمة لبدء التفاعل المتسلسل الذي يقود إلى الإنفجار العنيف.

ومن الصعوبات التي تواجه صناعة مثل هذه القنبلة, استخلاص اليورانيوم $^{235}_{92}U$ من $^{238}_{92}U$ ولذلك تمت صناعة نوع آخر من القنابل, باستخدام $^{238}_{92}U$ حيث يتم في المرحلة الأولى بقذف اليورانيوم 238 بالنيوترونات حسب المعادلة التالية:

$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{239}_{93}Np + ^{0}_{1}c + \bar{\upsilon}$$

حيث ينتج النبتونيوم ($^{239}_{93}Np$) الذي يتحلل إلى بلوتونيوم ($^{239}_{94}Pu$) حسب المعادلة التالية :

$$^{239}_{93}Np \longrightarrow ^{239}_{94}Pu + ^{0}_{-1}e + \bar{\upsilon}$$

ولقد اتضّح أن قابلية بلوتونيوم 239. للإنشطار أكبر من قابلية اليورانيوم 235 ولذلك فإنه يلزم كتلة أصغر للوصول إلى الكتلة الحرجة, ولذلك قام العلماء بتصميم نوع آخر من القنابل الذرية (قنبلة البلوتونيوم) وتكون هذه القنبلة على شكل قطعة كروية صغيرة من البلوتونيوم توضع في مركز كرة, وتحاط بقطع من البلوتونيوم موضوعة على بعد ثابت من الكرة بحيث تكون سطح كرة أكبر, وكتلة كل منها أقل من الكتلة الحرجة انظر الشكل.

ولإحداث الإنفجار تجري تفاعلات كيميائية تقوم بإطلاق قطع البلوتونيوم كلها في آن واحد نحو مركز الكرة, مما يؤدي إلى التحام قطع البلوتونيوم وتكوّن الكتلة الحرجة ويبدأ التفاعل المتسلسل, وقد أطلقت أول قنبلة بلوتونيوم على مدينة ناجازاكي في اليابان وسميت "الولد السمين– Fat Boy " في 9 آب (اغسطس) 1945م.

المفاعل النووي الإنشطاري

قام فيرمي ببناء أول مفاعل نووي إنشطاري في جامعة شيكاغو, وبدأ العمل فيه في 2 كانون أول (ديسيمبر) 1942, وكانت هذه أول مرة يتم فيها إحداث تفاعل نووي مُسيطر عليه, ويوضح الشكل التالي المفاعل النووي.

يحتوي المفاعل النووي على يورانيوم 238 مضاف إليه 3.6 % من اليورانيوم 235 ويتم إحداث التفاعل التالي:

$$ {}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \longrightarrow {}^{141}_{56}Ba + {}^{92}_{36}Kr + 3\,{}^{1}_{0}n + \text{طاقة} $$

وتكون النيوترونات الناتجة عن هذا التفاعل سريعة لأنها تمتلك طاقة حركية كبيرة, ولذلك يوضع المفاعل في حوض به ماء تحت ضغط مرتفع، حيث يعمل الماء على إبطاء النيوترونات وتقليل سرعتها حتى تستطيع البدء بانشطار جديد ولكي يحدث التفاعل المتسلسل.

ولكن لا يُسمح لهذا التفاعل بأن يستمر بعشوائية كما في القنبلة الذرية, لذلك يتم السيطرة عليه باستعمال ألواح من الكادميوم , حيث تعمل هذه الالواح على امتصاص النيوترونات وبذلك يقل عدد النيوترونات المسببة للإنشطار ويتم

السيطرة على التفاعل. ويوجد وظيفة أخرى للماء حيث تعمل على التبريد نتيجة للحرارة العالية الناتجة عن التفاعل.

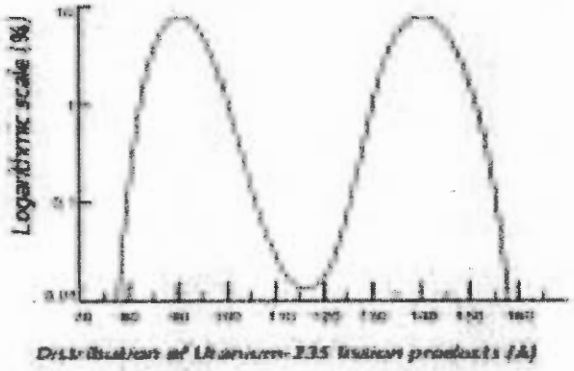
ومن مساوئ استخدام هذا المفاعل, المخلفات النووية الناتجة عن التفاعل حيث ينتج نظائر عديدة مشعة يجب التخلص منها, والطريقة المتبعة حالياً هي دفن هذه المخلفات في قاع مناجم الملح والتي تكون جافة وتبعد عن سطح الأرض مسافة تقدر بآلاف الأقدام حيث يمكن أن تبقى هناك ولا تتسبب في تلويث البيئة.

نواتج الانشطار

ينتج عن انشطار نواة اليورانيوم نواتين صغيرتين في أغلب التفاعلات ، كما من الممكن أن ينتج عن الانشطار أكثر من نواتين. وقد تكون "أنصاف" نواة اليورانيوم الناتجة زوجا مننوكليدات مختلفة. وغالبا ما تنتج نواة لها كتلة ذرية خفيفة نسبيا (نحو 90) مصحوبة بنواة ثقيلة) كتلة ذرية .(140 ولذلك يبين منحنى توزيع الأنوية الناتجة عن الانشطار قمتين (توزيع كتلة الأنوية الناتجة).ويبقى مجموع البروتونات والنيوترونات قبل التفاعل وبعده ثابتا. وعلي سبيل المثال، نذكر هنا حالتين ممكنتان للانشطار النووي للبلوتونيوم-239 بواسطة امتصاصه لأحد النيوترونات:

$$^{239}_{94}\mathrm{Pu} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{144}_{56}\mathrm{Ba} + {}^{94}_{38}\mathrm{Sr} + 2\ {}^{1}_{0}\mathrm{n}$$

$$^{239}_{94}\mathrm{Pu} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{130}_{51}\mathrm{Sb} + {}^{107}_{43}\mathrm{Tc} + 3\ {}^{1}_{0}\mathrm{n}$$



توزيع الأنوية الناتجة عن الانشطار بحسب كتلهم الذريةA

نواتج الانشطار تكون أنوية ذرية متوسطة الكتلة، وفي نفس الوقت غنية بالنيوترونات. وهي لذلك عناصر غير مستقرة ويصدرون في العادة نيوترونات زائدة عن مقدرتهم الاحتفاظ بها خلال عدة ثوان من بعد تكونهم، وتكون لهم أهمية في ضبط معدل التفاعل الجاري في مفاعل نووي. وتتحلل بعض تلك الأنوية الناتجة عن الانشطار عن طريق تحلل بيتا إلى عناصر أخرى. وتحلل بيتا لا يغير من الكتلة الذرية وينتهي تحلل بيتا المتتابع عند نواة مستقرة، وقد تستغرق تحللات بيتا الأخيرة قرب الوصول إلى العنصر المستقر أعمار النصف طويلة على مدي مئات السنين أو آلاف السنين.

ينتج عن كل انشطار لنواة يورانيوم واحدة قدر هائل من الطاقة يبلغ نحو 200 مليون إلكترون فولت تظهر في صورة حرارة وإشعاع، ويمكن استغلال الحرارة لتوليد بخار ماء، ومن بخار الماء توليد كهرباء عن طريق توربين ومولد كهربائي، وهذا ما يجري في مفاعل نووي.