القسم الثالث
رابعًا: انشطار نواة الذرة

16 الانشطار النووي أو انشطار النواة

أول من فكر وقام بعملية قذف نواة الذرة بالنيوترونات، ومعرفة فاعليـــة هـــذه الجسيمات، وقدرة تفاعل النيوترونات لتفتيت أو شـــطر النـــوى.. هـــو الفيزيـــائي الإيطالي Fermi. وكذلك لأن هذه الجسيمات المحايدة غير المشحونة تخترق حائط النواة المقاوم المسمى الـــ Potential wall كما لو أن هذا الحائط غير موجـــود، وعلى هذه الطريقة، أي قذف النوى بالنيوترونات، توصل Fermi ومساعدوه إلـــى أن يجدوا وينتجوا عددًا كبيرًا من العناصر Isotopes. ولكن وجدوا كـــذلك فـــي المواد الثقيلة أن جسيمات النيوترونات تبقى مدسوسة أو عالقة في النواة، وتبث في هذه العملية كذلك إشعاعاتβ وكذلك وجدوا بأن وزن الكتل النووية أو الذريـــة A، وكذلك العدد النظامي Z يرتفعان بعدد واحد وكذلك وجدوا أنه بتصادم النيوترونات بنوى مادة الهدروجين تخف سرعة هذه النيوترونات المقذوفة، وكذلك الفيزيائي من الأصل الإيطالي Fermi في اختباراته لمادة اليورانيوم توصل ووجد عـــددًا مـــن المواد المجاورة لمادة اليورانيوم التي تفترق كيميائيًّا عن هـــذه المـــادة، أي الـــــ Uranium وهذه المواد المنتجة هي من المواد التي عددها النظامي موجود بين 92 إلى 93، ونوى هذه المواد المنتجة نتيجة القذف بالنيوترونات يجب أن تكون نواها أثقل من نواة اليورانيوم، وسميت هذه المواد Transurane .

1.16 اكتشاف انشطار النواة Otto Hahn

حتى جاء الباحث العلمي الألماني O .Hahn .

من سنة 1879 إلى سنة 1968 مع مساعده الفيزيائي F. Strassman ، وهذان الاثنان في سنة 1938 في برلين عاصمة ألمانيا في ذلك الوقت قذفا في مختبرهـا الصغير مادة اليورانيوم الثقيلة بالنيوترونات؛ ونتيجة هذه العملية يجـب علينـا أن نقول إن كل ما يختص بانشطار النواة يعود فضله إلى الباحث العلمـي O.Hahn وكذلك F. Strassman، لأن هذين العالمين وجدا بعملية قذفهما النيوترونات على نواة اليورانيوم انشطار نواة اليورانيوم إلى قسمين متساويين تقريبًا، ووجدا كذلك أن هذا الانشطار يتبعه كذلك طاقة مرتفعة وهذه الطاقة من الممكن استغلالها. وكـذلك ظهر في كل عملية انشطار نواة من نوى اليورانيوم وحدها بتفاعلها مع المادة أنها بثت عددًا من النيوترونات الحرة بين العدد اثنـين أو ثلاثـة نيوترونـات. وهـذا الاكتشاف كان أكبر مفاجأة ودعم للفيزياء النووية العامة والخاصة.

هنا نقول بأن عملية انشطار أو تفتت النواة لا تحصل إلا عن طريق امتصاص أو التقاط نيوترون مقذوف من نواة مادة ثقيلة، وهذه النواة انشطرت بقـدرة طاقـة النيوترون عامة إلى قسمين، وكذلك إلى أقسام كثيرة مختلفة الميزات ولكن عـددها النظامي مجتمعة يساوي العدد النظامي الذي كان موجودًا أساسًا في النواة البدائيـة لمادة اليورانيوم.

16 . 2 مادة اليورانيوم Uranium

من وقت اكتشاف مادة اليورانيوم إلى تاريخ وجود عملية انشطار نواة الـذرة، كانت مادة اليورانيوم تستعمل قبلاً للقضايا البسيطة العامة مثل تلوين الزجاج وتقزز الفخار وكذلك في القضايا الكيميائية مثل تقوية مواد التصوير وغيرها.

إن مادة اليورانيوم معدن غير عريق لونه أبيض فضي، وهو معـدن وزنـه أو كتلته مرتفعة، كثافته تساوي $\rho = 19{,}04\ gr/cm^3$، يذوب كذلك على حرارة مرتفعة تساوي $1132\ C^o$ درجة حرارية، اكتشفه الكيميائي الصيدلي الألماني Klaproth في سنة 1786، وهذا المعدن أسماه Planet Uranus وهذا الصيدلي استخلص منه مادة ال U3O8= Uranium Oxide ذات اللون الأسود، وفي هذا العنصر يوجد تقريبًا كمية من اليورانيوم الصافي تساوي من 30 إلى 60% وهذا العنصر يوجـد

كذلك بشكل بلوري Crystal في مادة ال Carnotit ، وهذه المادة تحتوي تقريبًا على ما يقارب 50% من مادة اليورانيوم وأكبر المواقع لوجود هذه المادة توجد خاصة في قارة أميركا الشمالية في كندا Canada وكذلك في أفريقيا في محيط الـ Congo وكذلك في روسيا والولايات المتحدة وأستراليا وعديد من البلدان ولكن في ذلك الوقت وجد هذا العنصر مع خليط من المواد، هنا جاء الكيميائي الفرنسي Peligot في سنة1841 وخصبه إلى معدن صافٍ ومن بعده الفيزيائي الروسي Mendelejew عدل قيمة وزن كتلته النووية المحسوبة خطأً من قيمة 120 إلى 240 وبعد الاختبارات الكثيرة والقياسات العديدة من مجموعة العلماء العالميين لعملية الانشطار وغيرها لعنصر اليورانيوم علميًّا ونظريًّا ومن عملية الانشطار هذه أنتجت عناصر عديدة نسميها Uranium Isotopes، التي أنتجت عن طريق قذف مادة اليورانيوم بجسيمات النيوترونات ذوات الطاقة العالية. وهذه العناصر المنتجة تفترق بميزاتها بعضها عن بعض، وإنها كذلك موجودة في الطبيعة ومنها عناصر اليورانيوم المختلفة المعطاة بالمائة حسب الكميات التالية:

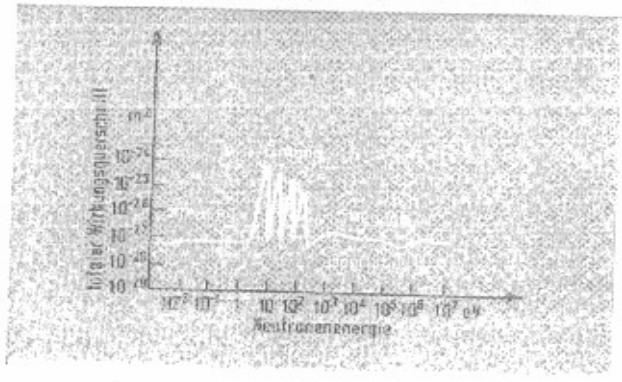
$$99{,}2739\ \%\ {}_{92}U^{238} + 0{,}7205\ \%\ {}_{92}U^{235} + 0{,}0056\%\ {}_{92}U^{234}$$

هنا ندخل في موضوع شرح تأثيرات النيوترونات على نوى هذه العناصر المذكورة من مواد اليورانيوم وتفاعل الإنتاج إذا قذفت نوى هذه العناصر بالنيوترونات.

1 – نواة اليورانيوم ${}_{92}U^{238}$

ولإظهار قيم عامل الانشطار النصفي Cross section لهذا العنصر ${}_{92}U^{238}$ تحت تأثير قذف نواه بالنيوترونات ذوات الطاقة المرتفعة هنا نرى أن النيوترونات على أنواع قدر طاقاتهم تتم عمليات تفاعل عامل الانشطار الذي نظهره بصورة المنحنى التالي:

openkandil.com



وأما ما ذكر قبلاً عن عوامل الانشطارات النصفية الحاصلة بين النواة والنيوترونات؛ منها الانشطار النصفي للالتقاط والامتصاص، وكذلك الانشطار النصفي المتشرد المرن، وكذلك الانشطار غير المرن ويتبعهم الانشطار النصفي الجمعي Total. وهذه، أي عوامل الانشطارات النصفية، حاوية عمليًّا كل التفاعلات الحاصلة بين النيوترونات ونوى الذرات ولكن كذلك يجب أن نذكر ما ينقص من خاصية عامل الانشطار النصفي الكبير الموجود في مجال الطاقات بين 10 eV إلى1000 eV ، الذي يؤخذ ويستعمل في كل حالات التقاط النواة لكل النيوترونات حسب الطاقات: إذا كانت مرتفعة أو خفيفة كذلك يظهر المنحنى عامل الانشطار النصفي إذا كان كبيرًا أو صغيرًا في أول عملية التشرد، ونتيجة هذه العملية نستطيع أن نراها على يمين المنحنى السابق، أي أنه بطاقة قيمتها 1 MeV نحصل على عملية عامل انشطار نصفي كامل لانشطار النواة وهنا نريد باختصار شرح وتفهم هذه العملية الحاصلة المعطاة بعامل الانشطار النصفي بين مادة اليورانيوم $_{92}U^{238}$ والنيوترونات، وهذه نشرحها بالنقاط التالية:

A- النيوترونات المقذوفة على النواة تلتقط من هذه النواة وهذا الالتقاط يحدث حسب طاقة محددة بين 10 eV إلى 1000 eV، ومن هذه العملية تنتج نواة جديدة عن طريق إعطاء الإلكترون للغلاف، وهذه تتحول إلى مادة مشعة نسميها Neptunium ومن بعد ذلك بنهاية عملية اضمحلال الإلكترون ينتج من هذه العملية وتفاعل النظير عملية مادة جديدة الـ Plutonium. وللتعمق بعمليات المواد

المشعة تتبع في الدروس لاحقًا، والآن نبقى في عملية التقاط النيوترونات من نوى مادة اليورانيوم U238، وهذه العمليات نظهرها بالمعادلة التالية:

$$_{92}U^{238} + {}_{0}n^{1} \rightarrow \beta \rightarrow {}_{93}Np^{239} \rightarrow \beta \rightarrow {}_{94}Pu^{239}$$

B- ولتفهم هذه الحالة؛ هنا كذلك هذا النيوترون المقذوف يمكن أن يتشرد والمقصود بتشرده أنه يضيع من سرعته، وكذلك ينعكس على النواة و ينحرف عن طريق مساره، ولهذا طاقته تصغر مع الوقت ويصبح هذا النيوترون نيوترون حراريًّا ولا يعود عنده تأثير لانشطار مادة اليورانيوم $_{92}U^{238}$.

C- أما في حالة إذا ما استطاع النيوترون شطر ذرة اليورانيوم $_{92}U^{238}$ ففي هذه الحالة يحدث انشطار خفيف، والانشطار الكامل يحدث لما تكون طاقة النيوترونات مرتفعة جدًّا.

2 - نواة اليورانيوم $_{92}U^{235}$

يظهر لنا تفاعل عامل الانشطار النصفي من النوع المجموع الكامل، أي من النوع الذي يعطى بالاسم Total Cross Section لعنصر مادة اليورانيوم $_{92}U^{235}$، بالمقابلة مع النيوترونات ذوات الطاقات المتعددة ظهر أن النسبة هنا غير موجودة بين طاقات النيوترونات وعامل الانشطار في عنصر اليورانيوم $_{92}U^{238}$ وهنا نرى واضحًا لما ننظر إلى خط المنحنى المنقط أن عامل الانشطار النصفي Scattering = σs مظهر نفسه بنفسه، وهنا كذلك نرى أن عامل الانشطار النصفي عامة مرتفع أكثر مما في عنصر اليورانيوم 92U238 لما من هذا قيمة الالتقاط Catching Cross Section تطرح. وهذا ما يدل على أن نوى اليورانيوم U235 تنشطر بسهولة عن طريق النيوترونات الحرارية من نوى اليورانيوم U238.

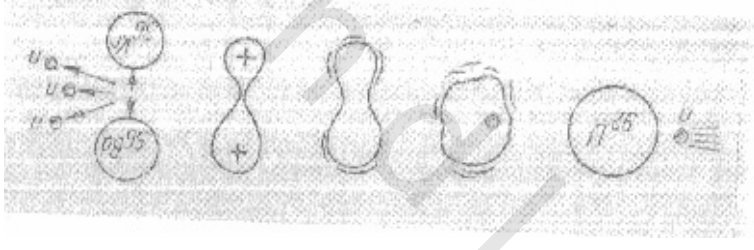
وهذا المنحنى يظهر لنا أيضًا كذلك أن نوى اليورانيوم U235 تنشطر عن طريق النيوترونات السريعة، وكذلك عن طريق النيوترونات الحرارية وبعد الاختبارات والقياسات وجد بأن النيوترونات الحرارية الخفيفة خاصة، أجود وأقدر للانشطار من النيوترونات السريعة.

openkanal.com

والانشطار عن طريق النيوترونات الحرارية أنسب وأقل خطرًا لأنه من الأسس الفيزيائية والتطبيقية لربح طاقة الانشطار في المفاعلات النووية.

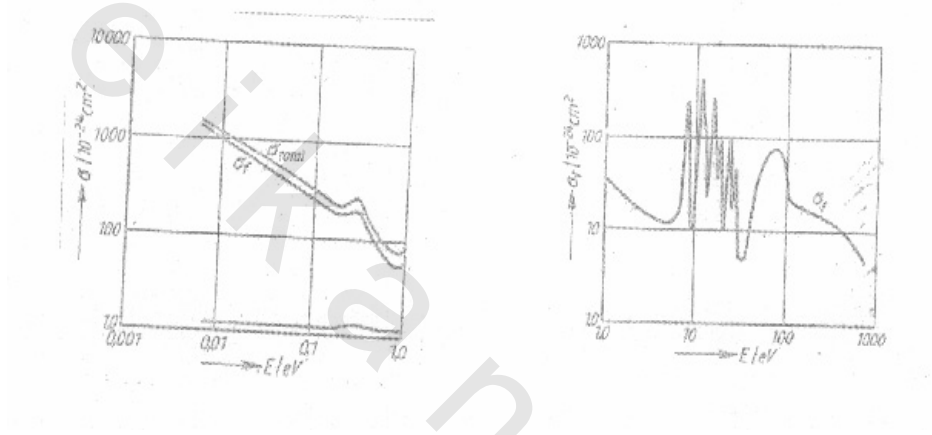
16 . 3 عملية الانشطار في نواة الذرة

إذا أخذنا النواة بشكل كرة صغيرة أو نقطة ماء، وهذا الشكل الشبيه بالكرة يملك على سطحه الكروي طاقة خاصة معروفة، وهذه الكرة إذا سحبناها أو مددناها بالطول من تحت إلى فوق، وقسمناها إلى قسمين يلزمنا قدرة شغل كبيرة لأن هذا الشغل يتبع كل سطحها الكروي، ولكن لما هذه النواة يدخلها نيوترون مقذوف ذو طاقة مرتفعة، ولما هذا النيوترون يجلب معه طاقة مرتفعة فإن هذا النيوترون بدخوله النواة يغير شكل النواة كما لو أنها كتلة كرة مطاطة Elastic Mass وعن هذه العملية ينتج نبضات واهتزازات ولذلك تنتج النواة الجديدة $_{92}U^{236}$ المنتجة من بين النيوترون الساقط والنواة بشكل يساوي مقابض حديدية للتمارين الرياضية.



لأن النواة بشكلها الكامل تملك شحنة إيجابية، وعن طريق القذف بالنيوترونات ينقسم هذا الشكل إلى قسمين مفترقين مشحون كل قسم منهما إيجابيًّا. وبسبب امتلاكهما نفس الشحنة يتنافران ويتطايران بقوة مرتفعة عن بعضهما البعض وهذه العملية أي انشطار النوى تحدث بسرعة لما تكون متانة تماسك النوى ضعيفة من نوع gu التي كتلتها النووية A غير مستقيمة ولذلك يتبع بأن النوى الثقيلة غير كروية الشكل بل إهليلجية الشكل بشكل الـ elliptic يكون تقسيمها أو انشطارها أبسط من النوى التي شكلها كروي. وهذا الشكل من النوى لانشطاره يكفي النيوترونات خفيفة السرعة، لأن هذا النيوترون الحراري لما يدخل النواة يلزمه

طاقة ترابط أو تماسك كافية حرة تساوي 7 MeV، وعن طريق النيوترونات خفيفة السرعة وكذلك السريعة منها ممكن انشطار نوى العناصر الطبيعية مثل اليورانيوم U^{235}، وكذلك العناصر المصطنعة U^{233}، وكذلك Pu^{239} Plutonium. وتصرف عملية التفاعل هذه عنصري U^{235} and Pu^{239} من جهة النيوترونات الحرارية نظهرها في المنحنيات في الصورة اليسرى لانشطار الـ Pu^{239}، وكذلك لانشطار الـ U^{235} في المنحنى في الصورة اليمنى.



هنا عامل الانشطار النصفي لهذين الاثنين يعطى حسب تعدد السرعة، وهذا ما تظهره كذلك النيوترونات حسب السرعة المرتفعة المساوية تقريبًا 1,1 MeV، والمقصود بها الطاقة الحركية. هنا كذلك نستطيع بقذف النيوترونات السريعة شطر النوى من النوعية المستقيمة gg، وكذلك ممكن انشطار عنصر ال ^{232} Thorium الطبيعي ولكن كذلك بقذفه بنيوترونات طاقتها تفوق المئات من الMeV ومع هذه الطاقات المرتفعة نستطيع كذلك شطر النوى الخفيفة ومن المهم ما وجده الباحث الروسي Fljrow مع مساعده أن عنصر اليورانيوم U^{235} من الممكن انشطاره بدون صاعقة، أي المقصود به انشطار ذاتي طبيعي تلقائي Pontoon . وبودي شرح هذه العملية التي كانت أحد الأسئلة في فحص أطروحتي للدكتوراه في المفاعل النووي الألماني بمونيخ، والأفضل أن نبقيها في الذاكرة حفظًا من أخطار اللعبة الطبيعية البسيطة، ونكتفي بإعطاء مثلين لانشطار عنصر اليورانيوم $_{92}U^{235}$ حسب المعادلات التالية:

$$_{92}U^{235} + {}_{0}n^{1} \rightarrow {}_{92}U^{*236} \updownarrow \begin{matrix} {}_{35}C^{*150} \\ {}_{37}Rb^{*94} \end{matrix} + 2.{}_{0}n^{1} + 198\ MeV$$

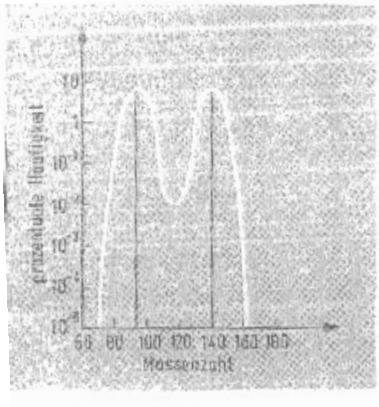
$$_{92}U^{235} + {}_{0}n^{1} \rightarrow {}_{92}U^{*236} \updownarrow \begin{matrix} {}_{56}Ba^{*144} \\ {}_{36}Kr^{*89} \end{matrix} + 3.{}_{0}n^{1} + 198\ MeV$$

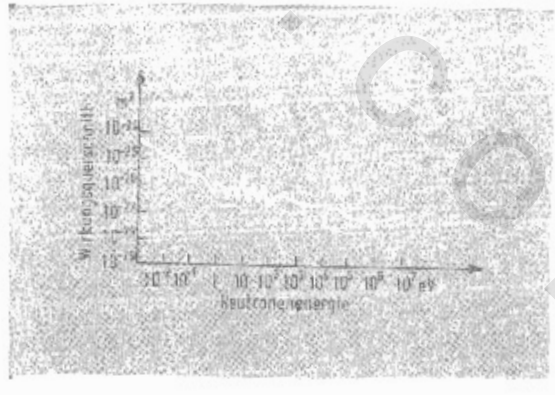
العناصر المذيلة برمز النجمة * هي عناصر مشعة.

وفي كل عمليات انشطار النوى المنتجة يؤخذ قانون امتلاك الشحنة الكهربائية، ولذلك نرى أن مجموع شحنة أعداد أقسام الانشطار يساوي عدد شحنات النوى غير المنشطرة ولذلك عدد أقسام النواة Nucleons يبقى بعد وقبل الانشطار بنفس القيم.

16 . 4 المواد المنتجة من عملية الانشطار

إلى الآن يوجد تقريبًا 250 عنصرًا Nuclide منتجًا تعرفنا عليها، وهي من المواد أو العناصر Isotopes التي عددها النظامي مماثل لمادة الزنك المساوي Z = 30 وكذلك لمادة الـDysprosium Z = 60، وكذلك وزن الكتل الذرية A لهذه المواد يساوي القيمة ما بين 70 إلى 170 وهذه المواد المنتجة من الانشطار $_{92}U^{235}$ عن طريق النيوترونات الحرارية لم تظهر كل المواد المنتجة بالتراكم بل أظهرت بالنسبة المئوية وبينت في المنحنى الظاهر بالصور التالية:





ولكن لانشطار غير نووي يوجد لها منحنيات خاصة، وأما في انشطار U^{235} أنتجت أقسامًا يوجد بها نيوترونات عديدة أكثر من العناصر التي نواها جامدة Stabile والسبب لذلك أن النسبة بين النيوترونات والبروتونات في النوى الثقيلة أعلى من المواد التي نواها متوسطة الثقل، ولهذا نرى في كل انشطار ينبث منه تقريبًا نيوترونات بين العدد اثنين او ثلاثة نيوترونات، وهذا يعود إلى تزايد النيوترونات في الأقسام المنتجة لأنها لم تلغَ أو تُزل بعد وتبقى باقية إلى آخر المسار.

والسبب يعود إلى أنه في عملية الانشطار أنتجت أقسام لبناء نوى مشعة Radio Active تعطي الإلكترونات، وكذلك تحول عديدًا من النيوترونات إلى بروتونات حسب ما نظهره بالمعادلة التالية:

$$_0n^1 + {}_1p^1 + {}_{-1}e + \nu$$

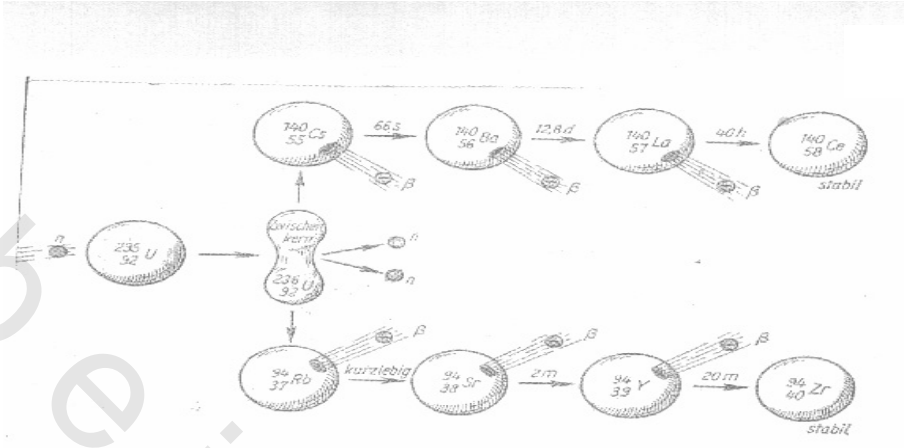
وكذلك تعطي هذه قسمًا من طاقتها بشكل إشعاعات γ، وكذلك نوي جديدة منتجة تتحول بالتدريج إلى نوى ثابتة جامدة، وهذا ما نظهره في عمليات نموذج الانشطار التالي:

$$_{55}Cs^{*140} \rightarrow {}_{56}Ba^{*140} \rightarrow {}_{57}La^{*140} \rightarrow {}_{58}Ce^{140} \quad \text{Stabile}$$

$$_{92}U^{235} + {}_0n^1 \rightarrow {}_{92}U^{236*} \updownarrow \quad + 2.{}_0n^1$$

$$_{37}R_B{}^{*94} \rightarrow {}_{38}Sr^{*94} \rightarrow {}_{39}Y^{*94} \rightarrow {}_{40}Zr^{94} \quad \text{Stabile}$$

هنا نظهر نموذجًا خاصًّا لكل إمكانيات عمليات انشطار عنصر اليورانيوم U^{235}، وبصورة خاصة الأقسام المنتجة والمضمحلة والإشعاعات المنبعثة.



ولكن نذكر هنا شيئاً مهمًّا حتى نتخلص من النيوترونات المتزايدة، في كل الحالات يحدث هذا الإنزال من نفسه عن طريق تأجيل أو تأخير الوقت من 1min To 0,05 Sec لاصطدام نيوترون. وتأجيل أو تأخير هذه النيوترونات التي تساوي 0,75% هو شيء مهم في الفيزياء النووية. وعملية شرح الانشطار على شكل نموذج للنقطة يتبع لاحقاً.

16 . 5 توازن الطاقة في الانشطار النووي

في هذا القسم سوف نكتفي بشرح ما ينتج من عملية الانشطار من طاقات. وهذه الطاقات نستطيع إظهارها وشرحها عن طريق النقص في كتل النوى أي Δm. وانشطار نواة اليورانيوم $_{92}U^{235}$ تعطي طاقة تساوي بين 198 إلى 208 MeV حسب النموذج التالي:

عملية القذف	عدد الكتل النووية	القيم البدائية للكتل النووية
نواة يورانيوم 235	235	235,0423
القذف بنيوترون واحد	+ 1	+ 1,0087
القيم قبل الانشطار	236	236,0510

العناصر الثابتة المنتجة بعد الانشطار:

$_{40}Zr^{94}$ = Zircon Nucleon	94	93,9060
$_{58}Ce^{140}$ = Cer Nucleon	140	139,9044
+ 2. Neutrons Free	2	2,0173
ما أنتج بعد الانشطار	_____	_____
المجموع	236	235,8277

الفرق بنقص الكتل يساوي:

$$\Delta m = \Sigma m - M \text{ [ME]}$$
$$\Delta m = 236,0510 - 235,8277 = 0,2233 \text{ [ME]}$$
$$\Delta m = 0,2233 \text{ [ME]}$$

فإذا كانت كل وحدة تساوي ME = 931 MeV فإن 0,2233 وحدة تساوي طاقة تساوي:

$$E = 0.2233 \,.\, 931 \text{ MeV} = 208 \text{ MeV}$$

ولكن عن طريق معادلة أينشتين تساوي الطاقة المعادلة التالية:

$$E = \Delta m\, c^2 = 0,2233.(2,99793)2 = 200,6275 \text{ MeV}$$

وهذه الطاقة، أي الطاقة المنتجة من عملية انشطار عنصر اليورانيوم U^{235} التي نسميها exothermic، تقسم إلى عدة أقسام حسب النموذج التالي:

طاقة تفاعل الانشطار الحركية تساوي:	168 MeV
طاقة النيوترونات الحركية المقذوفة تساوي:	5 MeV
طاقة إشعاعات γ المنبعثة تساوي:	5 MeV
طاقة إشعاعات γ التلقائية مع إشعاعات β :	13 MeV
طاقة النيوترونس ν تساوي:	9 MeV
مجموع الطاقات بالمقابل يساوي:	_____
المجموع	200 MeV

obeikandl.com

وإذا أردنا المقارنة بين طاقة الاحتراق الناتجة من الانشطار النووي لكمية كلغم واحد من عنصر اليورانيوم U^{235} والطاقة المعادلة المنتجة من احتراق الفحم الحجري، يجب علينا أولاً معرفة وزن كتلة غرام واحد من عنصر اليورانيوم ؟

الجواب:

من المعروف علميًّا وتطبيقيًّا بأنه يوجد في غرام مادة حسب عامل أفوكدرو عدد من الذرات يساوي .. $6,023.10^{+23}$ ذرة، والطاقة الموجودة في عملية انشطار كلغم واحد من اليورانيوم U^{235} تساوي المعادلة التالية:

$$E = 6,023.10^{23}. 1000gr\ 200\ MeV / 235\ gr = 5,1.10^{26}\ MeV$$

وهذه الطاقة المنتجة من انشطار كلغم من اليورانيوم نستطيع بأن نقابلها بكمية احتراق من الفحم الحجري على طريقتين: الأولى عن طريق المقارنة بوحدة ال Calorie والثانية بوحدة الجول Joule فنقول إذاً:

$$1\ eV = 3,83.10^{-20}\ cal$$
$$5,1.10^{32}\ eV = X\ cal$$
$$X = 5,1.10^{32} . 3,83.10^{-20} / 1\ eV = 20.10^{+12}\ Cal$$
$$1\ kg\ cabbage = 8.10^{+6}\ Cal$$

وكمية الفحم الواجبة حتى تنتج حرارة تعادل 20.10^{+12} تساوي في وحدة الكيلو غرام.

$$20.10^{12}\ Cal . 1kgr / 8.10^{6}\ Cal = 2,5.10^{6}\ kg$$

والطريقة الثانية إنتاج الطاقة بوحدة الجول Joule، هنا حسب لائحة الوحدات الفيزيائية واحد جول يساوي:

$$1\ Joule = 6,24.10^{15}\ MeV$$
$$X\ Joule = 5,1.10^{26}\ MeV$$
$$5,1.10^{26}\ MeV . 1Joule / 6,24.10^{15}\ MeV = 80.10^{12}\ J$$
$$1\ kgr\ Cabbage = 32.10^{6}\ J$$

لمقارنة طاقة احتراق كلغم يورانيوم U^{235} المنتج هذه الطاقة بوحدة الجول 80.10^{12} J يقابل احتراق $2,5.10^{+6}$ كلغم فحم حسب المعادلة التالية:

$$E_1 / E_2 = 80.10^{12} \text{ J} / 32.10^6 \text{ J} = 2,5 .10^{6} \text{ kgr}$$

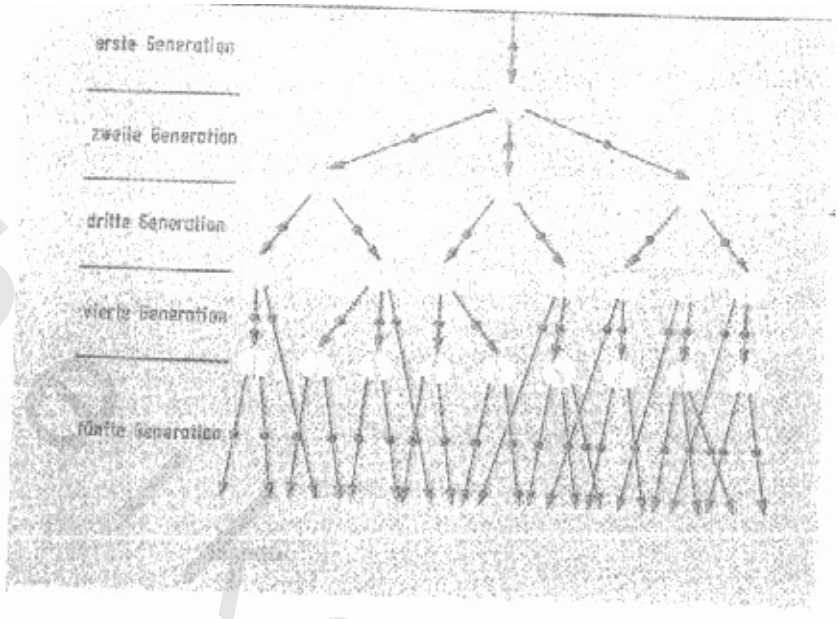
وربح هذه الطاقة لا يحدث إلا من عملية الانشطار، لأن هذه العملية تعطي قسمًا كبيرًا منها كطاقة حرارية، وهذه الطاقة لها أهمية كبرى لخدمة الإنسانية. وهي في الحقيقة تنشق من طاقة ترابط أو تماسك نواة الذرة، ولمقابلة هذا التماسك بالعمليات الكيميائية فإن هذه، أي العمليات الكيمائية، لا تتعدى إلا بعض وحدات من ال eV ولكن طاقة الترابط أو التماسك النووي في الـ Nucleons نواة الذرة تفوق الملايين من وحدات eV .

16 . 6 تفاعل الانشطار المتسلسل

16 . 1.6 شروط تفاعل الانشطار المتسلسل

إن الطريقة المستعملة للانشطار النووى لربح الطاقة الحرارية المنتجة من عمليات الانشطار المتسلسل، هي عملية انشطار عدد كبير من نوى اليورانيوم في وقت قصير. ولتحقيق حدوث هذه العملية تقذف النيوترونات على نوى اليورانيوم U^{235} ويجب في هذه العملية أنه كلما اصطدم نيوترون بنواة يحدث التقاط وانشطار يتبعه انبثاق اثنين أو ثلاثة نيوترونات حرة ثنائية جديدة لم توجد قبل.

وهذه العملية ليست بحاجة لنيوترونات خارجية، بل النيوترونان الاثنان أو الثلاثة التي انشقت أو انبثت من عملية الانشطار الأولى تستكمل العمليات المتتابعة للانشطار على أساس أن كل نيوترون منشق يجب أن تصطدم بنواة وهنا تحدث كما ذكرنا عملية الالتقاط، عملية انشطار نواة واحدة يكفي لإحداث عدد مرتفع من عمليات الانشطار بشكل انهيارات تفاعلية متسلسلة، وهذه نسميها عمليات التفاعل المتسلسل أو بالأحرى Chain of Reaction، وهذا التفاعل المتسلسل ظهر كنموذج ظاهر لعمليات التناسل في الصورة التالية:



وللتمكن من تماشي وتفهم تفاعل الانشطار المتسلسل عن طريق الأعداد وجد المدلول التالي: (عامل التناسل) K وهذا الحرف ليس إلا العدد المقابل لتزايد عمليات الانشطار من جيل انشطار إلى جيل آخر جديد؛ ومثالاً لهذا التزايد أو التناسل نشرحه بالحل التالي:

إذا افترضنا في وقت ما.. بأن 100 نيوترون أحدثت تفاعلاً انشطاريًّا، ومن هذا التفاعل انبث وأطلق 200 إلى 300 نيوترون جديد عن طريق التفاعل في عنصر اليورانيوم المعروف U235، هنا نأخذ العدد المتوسط من النيوترونات المساوي تقريبًا 256 نيوترون، منها 140 فقدت أو انحرفت على مساحة سطح مادة اليورانيوم، فالتقطت من غير نوى والبقية من ال 116 نيوترون التقطت وأحدثت انشطارًا من جيل إلى جيل فنرى بهذه العملية أن من ال100 نيوترون الأولى الفعالة أصبح 116 والنسبة بين الاثنين تعطينا عامل التناسل المعروف المساوي K 1,6 = وعدد التناسل هذا هو الذي يحدد تماشي أو سير عمليات الانشطار والذي يوجد منها ثلاثة أنواع:

الأول: الانشطار الحرج المنتج الانفجار الخطر لما يكون عامل التناسل أكبر من واحد K>1 .

الثاني: الانشطار الثابت المنتج عملية الطاقة الحرارية لا غير لما يكون عامل التناسل يساوي واحدًا K = 1 .

والثالث: الانشطار المضمحل الذي لا يحدث بصفة عامة إلا لما يكون عامل التناسل أصغر من واحد K< 1.

1 – هنا في الحالة لما يكون عامل التناسل أكبر من واحد K > 1

في هذه الحالة عدد النيوترونات يرتفع من جيل إلى جيل، ولهذا نستطيع أن نقول عمر أو حياة النيوترون متعلق بسرعته التي توجد بين 10^{-9} sec To 10^{-5} sec وهنا يتبع تتابع انشطار الأجيال في الوقت الذي يرتفع كذلك عدد النيوترونات بسرعة انهيار الانشطارات المرتفعة إلى حد أعلى، ثم تتفرق بطريقة هندسية نراها حسب النموذج الموجود في صورة رقم 75. ولهذا يرتفع عدد التناسل إلى ما فوق الواحد أي K > 1 والسبب في هذه اللحظة لم تقدّر سرعة الوقت (الحل يتبع لوجود الوقت اللازم) في القسم التابع للعملية. وبهذه العملية كل محتويات نوى اليورانيوم تنشطر بإعطاء طاقة مرتفعة، تقريبًا غير محدودة. وهذا ما يماثل أو يعادل طاقة عملية انفجار القنبلة النووية، ونسمي هذا التفاعل النووي: التفاعل غير المتحكم به.

2 – في الحالة لما يكون عامل التناسل يساوي واحدًا K = 1

في هذه الحالة عدد النيوترونات يبقى ثابتًا وهذا معناه أنه في عملية الانشطار ينبعث أو يطلق نيوترونات جديدة كما ذكرنا سابقًا، عددها بين الاثنين أو الثلاثة. ولكن هنا نيوترون واحد منها كافٍ لعمل عملية انشطار، والنيوترونات المنبثقة الجديدة تلتقط بدون تفاعل وهذه العملية نسميها عملية تشرد الانشطار المتسلسل المساوية عملية التوازن Resonant وتفاعلات هذه الحالة المنتجة الحرارة صالحة لتشغيل المفاعلات النووية لخدمة الإنسانية.

3 – وفي الحالة لما يكون عامل التناسل أصغر من واحد k< 1

في هذه الحالة عدد النيوترونات يصغر من جيل إلى جيل ولهذا السبب أعداد عمليات الانشطار تخف ولا يعود ينتج في هذه الحالة أي انشطار متسلسل صافٍ. ونقول عن هذه الحالة حالة إغماد الانشطار المتسلسل ولكن لتشغيل المفاعلات النووية فإنه مهم ولازم وجود عمليات انشطار متسلسل متحكم بها، أي من الممكن تسييرها والتحكم بها كما نشاء. وعملية التحكم هذه ممكنة على ثلاثة أنواع: عملية انشطار سريع، وخفيف وكذلك مغمود أو مكبوح وهذه العمليات الثلاث تحدث كما ذكر سابقًا عن طريق التقاط النيوترونات من نوى المادة الماصة، ولذلك نقول بأن هذه العمليات المذكورة أعلاه متعلقة بالمادة الكابحة التي تستطيع بأن تمتص جيدًا النيوترونات، ونسمي هذه المواد التالية المخففات Moderators وبوضع هذه المواد الماصة بين نوى عنصر اليورانيوم المنشطرة نستطيع بتحريكها التحكم بسير إنتاج النيوترونات من سريعة إلى خفيفة إلى مكبوحة، وما يتبعها من عمليات انشطار.

ولكن لوجود عمليات انشطارية متسلسلة في المفاعلات النووية يجب اتباع النقاط التالية:

A – في حالة تشغيل المفاعلات النووية يجب أولاً خلق تفاعل انشطاري متسلسل لوقت معروف محدد على قدرة مرتفعة حتى يصل عامل التناسل إلى عدد أعلى من واحد أي $K > 1$.

ومن بعد ذلك تخفيض أو إنزال تفاعل قدرة الانشطار عن طريق الكبح بالمخففات حتى تصبح قيمة عامل التناسل تساوي $K = 1$. وفي حالة وقف أو توقف عمليات المفاعلات النووية، وهي أن النيوترونات الموجودة قبلاً يجب أن تلتقط من المخففات حتى يخف عدد الانشطارات من جيل إلى جيل ويصبح عامل التناسل أصغر من واحد $K < 1$، وفي الختام عامل التناسل يتأرجح من أعلى إلى أسفل $K > 1$ To $K < 1$ حتى هذا العامل يثبت ويأخذ قيمة التوازن ويصبح ثابتًا يساوي $K = 1$.

B – ومن الممكن كذلك توقف عمليات تشغيل المفاعلات النووية، لأنه كذلك يحدث في عمليات الانشطار المتسلسل أن النيوترونات المنتجة من عمليات

الانشطار الأولى تنحرف أو تغمد في عنصر المادة نفسها القابلة للانشطار بدون بأن تصطدم بأية نواة من المادة وهذا الضياع كذلك ممكن لأن النيوترونات عندها قدرة الخرق بمسار مسافة حرة متوسطة نسميها λ، وسوف نأتي على ذكرها وشرحها مفصلاً في القسم التالي. وقدرة الخرق هذه تعود إلى صفات النيوترونات الفيزيائية المحايدة لأنها لا تملك شحنة كهربائية، ولا تؤثر على شحنات النوى الموجودة ولما عدد هذه النيوترونات التي ليس لها تأثير أو تفاعل انشطاري متسلسل وعن طريق الحل العلمي Mathematical ظهر بأن النسبة بالمائة الضائعة من النيوترونات عن طريق الانحراف في جسم المادة القابلة للانشطار وكذلك على وجه سطح العنصر قليلة جدًّا. ولكنه في الحقيقة ظهر من بعد الاختبارات بأنه لما تصغر الكتلة لا يحدث أي تفاعل انشطاري متسلسل، وهذا يعود كذلك لأن كثيرًا من النيوترونات تنحرف على وجه سطح المادة الصغير بدون أي تفاعل أو انشطار.

ولهذا نقول بأن الحالة الحرجة أو الكتلة الحرجة Critical Mass ليست إلا الحالة السريعة القائدة لانشطار متسلسل في لحظة قصيرة من الوقت وفي كتلة متوسطة الحجم، وهاتان النقطتان السرعة والكتلة سوف نطرق شرحهما في القسم التابع 16- 2.6 ولتفهم الموضوع الذي لم يسمح بحله نقول عندنا عنصر يورانيوم U235 كتلته الحرجة تساوي تقريبًا 50 kgr، مصنوعة بشكل كرة نصف قطرها 8,5 cm، ولمعرفة الكتلة الحرجة والحالة الحرجة لهذه الكتلة يوجد حلول ونماذج علمية عديدة، ومن الممكن أن توجد في المراجع النووية المغلقة، ولكن ما يساعد على الحل مسار المسافة الحرة.

16. 2.6 مسار المسافة الحرة المتوسطة λ وحالة الكتلة الحرجة

لقد ذكرنا في القسم السابق عن ضياع أو انحراف كثير من النيوترونات في عمليات الانشطار، وهذا الانحراف أو الضياع صنف كانتشار للنيوترونات في

المادة بدون تفاعل.

وحتى نمنع هذا الضياع أو الانحراف يجب أن نكبر حجم كتلة اليورانيوم حتى يتمكن كل نيوترون في سير خرق مادة اليورانيوم من أن يصطدم بإحدى نوى المادة ومسافة طول الطريق المطلوبة التي يقطعها النيترون في المادة ليصطدم بنواة من هذه المادة نسميها: مسار المسافة الحرة المتوسطة λ التي ذكرت قبلاً في القسم 7.12 وتساوي المعادلة التالية:

$$\lambda = 1 / \sigma N_L \quad .N_L = N_A.\rho / A$$

λ = مسار المسافة الحرة المتوسطة

σ = عامل الانشطار النصفي

N_L = عدد النوى في سنتم مكعب من عنصر اليورانيوم U^{235}

1 = غرام ذرة واحد

ρ = كثافة عنصر اليورانيوم $U^{235}\rho = 19{,}04\ gr/cm^3$

A = عدد الكتلة الذرية لعنصر اليورانيوم U^{235}

N_A = عامل أفوكدرو $N_A = 6{,}023.10^{23}$

من المعروف علميًّا بأنه في كل غرام ذرة Gram Atom حسب عامل Avogadro، يوجد به عدد من النوى يساوي الاصطلاحية التالية:

$$N_A = 6{,}023.10^{23} .1gr$$

وكذلك للحفظ والمعرفة نقول في كل غرام مادة يوجد عدد من النوى حسب النسبية التالية: $n = N_A / A$

وفي كل سنتم مكعب مادة يوجد في هذا الحجم عدد من النوى تحل وتوجد حسب المعادلة التالية:

$$N_L = N_A.\sigma / A$$

ومثالاً على ذلك، إذا أردنا معرفة طول مسار المسافة الحرة المتوسطة للنيوترونات السريعة في عنصر اليورانيوم U235 في الوقت الذي عامل الانشطار النصفي المساوي 5 برن $\sigma = 5.10^{-24}.cm^2$ ، وكل وحدة برن للانشطار النصفي تساوي: $1Barn = 10^{-24}\ cm^2$. وكذلك كثافة عنصر اليورانيوم U235 تساوي $\rho = 19,04\ gr/\ cm^3$ فإن طول مسار المسافة الحرة المتوسطة التي يخترقها النيوترون السريع في عنصر اليورانيوم U235، تساوي المعادلة التالية:

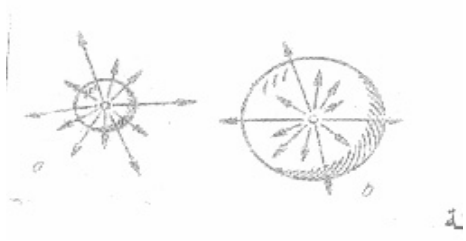
$$\lambda = 235\ gr\ /\sigma\ N_L$$

$$\lambda = 235\ gr.cm^3\ /\ 5.10^{-24}cm^2.6,023.10^{23}.19,04\ gr = 4,1cm$$

الحالة أو الكتلة الحرجة

إذا افترضنا أن عندنا كمية يورانيوم للانشطار حجمها كروي الشكل من مادة عنصر اليورانيوم U235 الصافي، قطرها أصغر من مسار المسافة الحرة λ للنيوترونات، وإذا هذا الشكل الكروي لعنصر اليورانيوم اخترقه نيوترون بدون أن يصطدم بنواة من هذه المادة القابلة للانشطار، يخرج إلى الخارج بدون تأثير أو تفاعل انشطاري.

ولكن إذا كان قطر هذه الكرة من عنصر اليورانيوم الصافي أكبر من طول مسار المسافة الحرة المتوسطة λ للنيوترونات، فإنه من الممكن أن يحدث تصادم بين النيوترون ونواة المادة، وكذلك تفاعل متسلسل لانشطار متسع ونسمي هذه الحالة الكتلة الحرجة أو الحالة الحرجة.



وهنا نختصر بالقول: لما يكون قطر المادة القابلة للانشطار إذا كان شكلها كرويًّا من اليورانيوم الصافي U235 أو غيره من المواد القابلة كذلك للانشطار، فإن الحالة الحرجة تحدث في هذه المادة لما يكون مسار المسافة الحرة المتوسطة λ يساوي طوله تقريبًا قطر هذه المادة كروية الشكل.

16. 3.6 سرعة التفاعل للانشطار النووي المتسلسل

لنفترض أن سرعة النيوترونات تساوي 10^9 sec، وكذلك طول مسار المسافة الحرة المتوسطة للنيوترونات تساوي $\lambda = 10$ cm فإن النيوترون يستطيع أن يقطع هذه المسافة بوقت يساوي $t = 10^{-8}$ sec ، وفي هذه الحالة نأخذ أن عامل التناسل $K = 2$ وفي التتابع تحدث الانشطارات التالية: 1 , 2 , 4 , 8 , 16، ونفكر بأن هذه العمليات حدثت 100 مرة، فتتناسل وتصبح في الجيل المائة تقريبًا ما يساوي 2^{100} $=10^{30}$ انشطار نواة، ولهذا يلزمنا وقت يساوي 10^{-6} sec $= 100.10^{-8}$ sec أي واحد من مليون من الثانية وعدد النوى الموجودة في كلغم واحد من اليورانيوم الصافي $1kgr\ U^{235}$ يساوي العدد التالي من النوى حسب المعادلة التالية:

$$n = N_A / A = 6{,}023.10^{23}.1000\ gr / 235\ gr = 2.10^{+24}$$

والوقت الواجب لانشطار كلغم واحد من عنصر اليورانيوم الصافي يلزمنا وقت يساوي واحد من مليون من الثانية 10^{-6} sec، وهذا هو الوقت الذي صرف في انفجار القنبلة النووية.

16 . 7 مميزات عنصر اليورانيوم U^{238}_{92}

حسب الدراسات التي مرت سابقًا ذكرنا أن عنصر اليورانيوم $_{92}U^{238}$ لا ينشطر إلا عن طريق النيوترونات السريعة، ولكن يجب ألا يغيب عن بالنا بعض ميزاته بأن هذا العنصر كذلك يمتص نيوترونات سرعتها متوسطة خفيفة بدون عمليات انشطار، ولكن الانشطار مطبوع على عمليات توازن التقاط النيوترونات Catch Resonant. وهذه الطاقات عندها ميزات عامل الانشطار النصفي للنوى المرتفعة جدًّا، ونقطة التوازن هذه المسماة Resonant تساوي 6,7 eV، وكذلك عامل الانشطار النصفي يساوي بوحدة البرن 23000 Barn .

ولكن إذا أطلقنا أو قذفنا نيوترون على هذا العنصر $_{92}U^{238}$ يرتفع عدد الكتلة النووية بنواة واحدة، ويشتق منه النظير $_{92}Pu^{239}$.. Isotope وطرق التفاعل نظهرها حسب تماشي المعادلات التالية:

$$_{92}U^{238}(n,\gamma)_{92}U^{239*}$$ عمره النصفي 23,5 min

فهذا النظير غير ثابت، بل مشع. بعد إعطائه إلكترون يتحول إلى نظير الـ Neptunium حسب المعادلة التالية:

$$_{92}U^{239}(e\text{-},\gamma)_{92}Np^{239*}$$ عمره النصفي يساوي 2,3 day

وفي النهاية هذا النظير باضمحلال الإلكترون يتحول إلى عنصر الـ Plutonium .

وعمليات التفاعل الكاملة تعطى حسب المعادلة التالية:

$$_{92}U^{238}(n,\gamma)_{92}U^{239*}(e^{-},\gamma)_{92}Np^{239*}(\beta^{-},\gamma)_{92}Pu^{239}$$

إن هذا العنصر، أي الـ Plutonium، يشابه عنصر اليورانيوم $_{92}U^{235}$ الصافي، فهو عنصر ثابت قابل للانشطار، عمره النصفي حوالي 24400 سنة يشع إشعاعات ،،،α وهي جسيمة سامة سوف نطرقها لاحقًا.

والآن نتابع دراسات مواد المفاعلات النووية:

مواد بناء المفاعلات النووية

بناء المفاعلات النووية كان في البداية مشاريع علمية فيزيائية، وفي الأساس لم تكن إلا لوجود الطرق العلمية للتحكم بقيادة العمليات الفيزيائية Steering Action للانشطار النووى، ومنها حولت لمصلحة إنتاج الطاقة وربحها للقضايا السلمية، وهذه المشاريع لما حققت علميًّا وتطبيقيًّا سميت المفاعلات النووية.

ولنتفهم المفاعلات النووية وطرق مسار هذه المشاريع العلمية الفيزيائية يجب أولاً أن نتعرف على أقسام بناء هذه المشاريع وهنا نذكر القسم المهم:

1 – مواد الاحتراق

هنا لما نقول مواد الاحتراق نفهم أنه قسم من المفاعل النووي موجود به مواد

openkandi.com

الاحتراق الفيزيائية القابلة للانشطار ولتفهم ما قصد بمواد الاحتراق فإنها ليست إلا مواد العناصر الثقيلة Nucleus التي عندها عامل الانشطار النصفي δ مرتفع جدًّا لعمليات تفاعل النيوترونات الحرارية وعن طريق هذا التفاعل المدعوم بالانشطار المتسلسل المتحكم به لإنتاج الطاقة. وهي العناصر التالية المختارة من بعد الخبرة الطويلة لانتقاء هذه العناصر القابلة للانشطار أي العناصر التالية:

$$_{92}U^{235} \quad , \quad _{92}U^{233} \quad , \quad _{92}Pu^{239}$$

ومن ميزات هذه العناصر:

A – اليورانيوم $_{92}U^{235}$ يوجد بالطبيعة، ولربحه ولكسبه كعنصر صافٍ يجب بأن يمر في عمليات فيزيائية صعبة للتنقية والتخصيب. انظر عمليات التخصيب المبسطة الأولية والأساسية في القسم 2.8.11.

B – اليورانيوم $_{92}U^{233}$ لا يوجد في الطبيعة، ولكن ممكن فصله وتنقيته اصطناعيًّا من عنصر الـ $_{90}Th^{232}$ Thorium الموجود في الطبيعة عن طريق قذف هذا العنصر الطبيعي بالنيوترونات السريعة حسب المعادلة التالية:

$$_{90}{}^{Th232}(n,\gamma)_{90}Th^{233*}(e\text{-},\gamma)_{91}Pa^{233*}(e\text{-},\gamma) + {}_{92}U^{233}$$

C – أما عنصر ال$_{92}Pu^{239}$ Plutonium لا يوجد منه في الطبيعة ولكنه من النوع الذي يفصل عن طريق التصنيع الفيزيائي بقذف اليورانيوم الطبيعي $_{92}U^{238}$ بالنيوترونات السريعة، وهذه العملية شرحت عدة مرات حسب المعادلة التالية:

$$_{92}U^{238}(n,\gamma)_{92}U^{239*}(e^{-},\gamma)_{92}Np^{239*}(e^{-},\gamma) + {}_{92}Pu^{239}$$

ولاستعمال هذه العناصر المذكورة أعلاه كمواد احتراق للمفاعلات النووية يجب إلقاء نظرة على ميزاتها كمواد احتراق فيزيائية، ومنها النقاط التالية:

1 – عنصر اليورانيوم الطبيعي $_{92}U^{238}$

وكذلك حسب ما شرحنا عن ميزاته مفصلاً في القسم السابق 7.16، ظهر بأن هذا العنصر غير ممكن استعماله كمادة احتراق للمفاعلات النووية لأن نواة لها عامل انشطار التقاطي مرتفعٌ جدًّا، ولكن تملك عاملاً انشطاريًّا نصفيًّا صغيرًا جدًّا للنيوترونات الحرارية.

2 – عنصر اليورانيوم الطبيعي $_{92}U^{235}$

من ميزاته الجيدة بأنه قابل للانشطار بالنيوترونات الحرارية خفيفة السرعة، وكذلك بالنيوترونات السريعة. ولكن انشطاره بالنيوترونات الحرارية يعطي نتائج أفضل وأربح.

وأما اليورانيوم U^{235} الصافي لا يستعمل كمادة احتراق، لأنه ينتج نيوترونات عديدة مرتفعة تصعب عملية سير الانشطار المتسلسل. ولهذا يؤخذ عنصر اليورانيوم U^{235} المخصب العادي بنسبة 235 إلى 140 كمادة احتراق في المفاعلات النووية الحديثة، والتي سوف نأتي على ذكرها وعملياتها في قسم موسع لاحقًا.

3 – خاصية عنصر اليورانيوم الطبيعي

عنصر اليورانيوم الطبيعي مؤلف 0,7% من اليورانيوم 235 وكذلك 99,3% من اليورانيوم $_{92}U^{238}$ هذا العنصر لا يصلح لتغذية المفاعلات النووية كمادة احتراق، لأنه بعد الاختبار ظهر أن هذا العنصر لما يقذف بالنيوترونات السريعة من الممكن أن 99% من نوى هذا العنصر 238 الموجودة به تنشطر، ولكن لوجود كذلك كثير من صعوبات الانشطار ترك ولم يؤخذ كمادة احتراق للمفاعلات النووية

4 – عنصر اليورانيوم $_{92}U^{233}$

هذا العنصر شرحت ميزاته سابقًا كمادة احتراق للمفاعلات النووية. وميزاته كمادة انشطار تساوي ميزات اليورانيوم 235، وسوف نأتي على ذكره مفصلاً لما ندخل في موضوع المفاعلات النووية المولدة أي التناسلية Brood Reactors.

5 – عنصر ال Plutonium $_{92}Pu^{239}$

هذا العنصر يلعب دورًا مهمًّا في عمليات الانشطار سواء كانت للسلام وإنتاج الطاقة أو للتخريب وإبادة البشرية سوف نأتي على ذكره مفصلاً لما ندخل موضوع المفاعلات النووية المولدة أو التناسلية Brood Reactors.

16. 8 الكابحات أو مخففات التفاعل The Moderators

من المعروف أنه لكبح أو تخفيف سرعة النيوترونات عامة، وخاصة في المفاعلات النووية يلزمنا مواد مخففة لهذه العملية وباختبار هذه المواد وجد أن عندها الميزات التالية:

1 – عندها انشطار تشرد مرن مرتفع High Elastic Scattering

2 – عندها انشطار التقاط صغير Fussy Catch Scattering

3 – عدد كتلها النووية صغير Fussy Mass number

وبعملية تخفيف سرعة النيوترونات عن طريق المخفف أو الكابح يتبع تشرد نوى ذرات هذه المادة المخففة. وجودة هذه المادة تعود لقدرة التشرد المرن لديها، هنا في هذه الحالة يطلب من النيوترونات لما تصطدم بنوى هذه المادة المخففة أن تُلتقط من هذه النوى، وهذا الالتقاط في المفاعلات النووية يجب أن يبقى ضعيفًا لأن ضياع أو امتصاص النيوترونات جميعها في هذه الحالة يؤثر على عملية الانشطار المتسلسل؛ لأن هنا الطاقة المنقولة لعملية التشرد المرن تصبح الكبرى لما الفرق بين النيوترونات المصطدمة ونوى المادة المخففة لها نفس عدد الكتل، أي أنه يجب بأن يكون عدد الكتل النووية للمادة المخففة يساوي تقريبًا كتل النيوترونات. ولهذا السبب يجب استعمال المخففات ذوات الكتل الخفيفة، ومنها المواد التالية:

A Graphite هنا يحدث الكبح في نوى الفحم الموجود في الـ Graphite

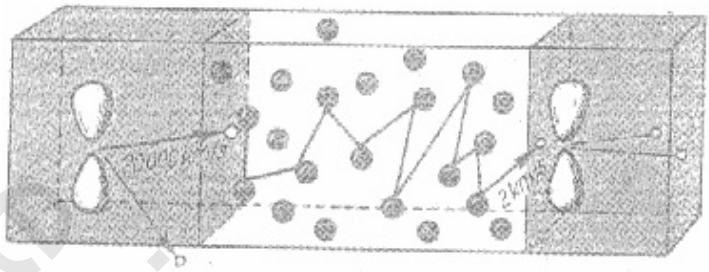
B Deuterium أي المياه الثقيلة، يحدث الكبح في الـ Deuterons

C Hydrogen أي المياه العادية، يحدث الكبح في الـ Protons

ولهذا يتبع هنا لائحة تظهر المواد المخففة، وتعطي أعداد تصادم النيوترونات السريعة والحرارية بنوى المواد المخففة، وكذلك كمية التقاط النيوترونات السريعة والخفيفة بهذه المواد:

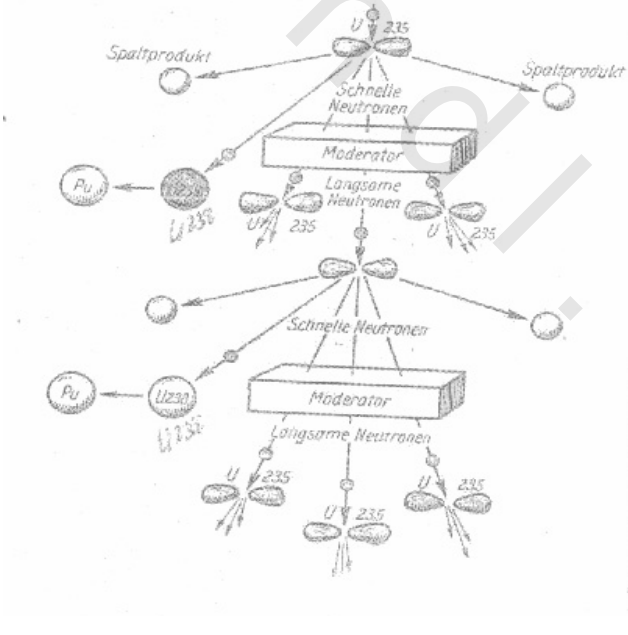
المواد المخففة	الهدروجين $_1H^1$	الديتاريوم $_1D^2$	الفحم $_6C^{12}$
التصادم	18	25	114
الالتقاط $(10^{-28}m^2)$	0,325	0,0005	0,005

والمقصود بهذه المخففات تخفيف سرعة النيوترونات من سرعة 30.000 km/sec إلى سرعة لا تتعدى أكثر من 10 km/sec .



وعملية التخفيف هذه تابعة وتشابه قانون التصادم المرن كعملية تصادم لعبة الكرات المسماة بلعب البيليراد Billiard.

وهنا في الصورة التالية:



نظهر نموذج التفاعلات المتتابعة في عمليات المخففات وسير النيوترونات في مادة اليورانيوم العادي غير الصافي والمخففات Moderators ليست إلا مواد نواهم لما تصطدم بها النيوترونات ذوات السرعة المرتفعة تخفف سرعتها عن طريق الكبح الفيزيائي، ولذلك هذه النيوترونات تمتص قليلاً من نوى المخففات قبل ما تلتقط من نوى عنصر اليورانيوم $_{92}U^{238}$

16 . 9 عملية قيادة التحكم في الانشطار المتسلسل
Steering Action

1 - عمليات التحكم

وظيفة التحكم في المفاعلات النووية هي عملية تخفيف أو توقيف أو كبح فيزيائي، وكذلك ضبط وإثبات عمليات التفاعل المتسلسلة في المفاعلات النووية. أهمها ضبط قدرة المفاعل اللازمة المطلوبة للتفاعل K = 1 بتحريك قضبان التحكم المصنوعة من المواد المخففة أو الكابحة القابلة لالتقاط النيوترونات بكمية كبيرة مثل الـ Bor. and Cadmium . وهذه العملية تحدث بتحريك وإنزال هذه القضبان المخففة إلى ما بين صفائح الألمنيوم المغلقة المملوءة بعنصر اليورانيوم المخصب المؤلفة قلب المفاعل أي Core، وبتحرك هذه القضبان بين هذه الصفائح على ارتفاعات محددة نستطيع توقيف أو تخفيف وضبط عمليات الانشطار حتى يصبح عامل التناسل أصغر من واحد K< 1 وفي دخول الحالة أو الكتلة الحرجة تنزل هذا القضبان بين الصفائح على ارتفاع محدد عن طريق التحكم الذاتي الآلي الـ Automatic Steering لتوقيف عمليات التفاعل في المفاعل، وهذه النقاط سوف نتعمق بدراستها لما ندخل في موضوع دراسات المفاعلات النووية.

لقد ذكرنا سابقًا كل طرق التحكم تقريبًا منهم التحكم العادي وكذلك التحكم الذاتي (الآلي)، ولكن يوجد كذلك طريقة طبيعية مساعدة تشكل التحكم الذاتي لقيادة المفاعلات النووية عن طريق تأثير الحرارة، وهذه الطريقة تعمل لما تفاعلات الانشطارات ترتفع، وفي نفس الوقت ترتفع طاقة النيوترونات المتوسطة والحرارة، وبارتفاعهما يرتفع كذلك التقاط النيوترونات، ولذلك يخف الانشطار بارتفاع معامل

الحرارة السلبية المسماة علميًّا بالاصطلاحية التاليـــة: Negative Temperature Coefficient، وهذه العملية تساعد كتحكم ذاتي طبيعي في المفاعلات النووية.

وكذلك للتحكم يوجد مواد قادرة لانعكاس النيوترونات Neutrons Reflectors، وهذه تستطيع كذلك بأن تقوم بعملية التحكم الذاتي في المفاعلات النوويـــة، مثـــل: المفاعلات النووية التناسلية المعروفة بالمولدة Brood Reactors وهـــذه المـــواد مؤلفة من المواد التالية:

Graphite , Deuterium , Beryllium

2 – عمليات التبريد في المفاعلات النووية وكذلك الوقاية من الإشعاعات الذرية

عامة كل المفاعلات النووية يلزمها طرق تبريد لأنه من عملية انـــشطار نـــوى الذرات أي نوى وقود المفاعل ينتج من هذه التفاعلات حـــرارة مرتفعـــة، وهـــذه الحرارة تستعمل أولاً لتوليد الطاقة عن طريق المبادلة الحراريـــة وعـــن طريـــق المكثفات تعود لتبريد الحرارة المنتجة من الانشطارات. ولـــذلك لإنتـــاج الطاقـــة تستعمل المياه العادية الطبيعية وكذلك المياه الثقيلة أو المعادن المائعة السائلة مثـــل الـــ Naturism المائع؛ لأن هذا المبرد المعدني يلعب دورًا مهمًّـــا فـــي عمليـــات التبريد، وكذلك يمكن التبريد باستعمال الهواء وكذلك خاصة في المدة الأخيرة غاز الهليوم Helium إلخ.

عمليات التبريد هذه سوف نتعمق بشرحها لما ندخل في موضوع المفـــاعلات، لأن لكل نوع من المفاعلات النووية حسب تصميمه لـــه طريقـــة ومـــادة خاصـــة لتبريده..

3 – الوقاية من إشعاعات المفاعلات النووية

والشيء المهم والذي يجب أن لا يغيب عن بالنا أو ننـــساه هـــو الوقايـــة مـــن الإشعاعات الذرية الصادرة من المفاعلات النووية؛ ولهذا لقد سبق وذكرنا وتعمقنـــا علميًّا بأنه في عملية انشطار نوى ذرات اليورانيوم أو غيرها في المفاعلات النووية أو ما يتبع من تفاعلات ينتج إشعاعات خطرة من كل أنواع الإشـــعاعات، ومنهـــا الإشعاعات التالية المعروفة: n , γ , β , α وهذه الإشعاعات يجـــب حجبهـــا للوقاية من أضرارها ومن أهم وسائل الوقاية طرق بناء المفاعلات النووية .

خاصة أحواض المفاعلات النووية وهي في الحقيقة أحواض واقية مبنية من أسمنت مغلف خاص عازل وكذلك كابح الإشعاعات المنبه من التفاعلات والانشطارات الحاصلة من عمليات الانشطار المتسلسل بألا تتسرب إلى الخارج وتبيد البيئة والإنسان والطبيعة، ولذلك للتغيير وتنقية الهواء بنيت في المفاعل مصاف خاصة Filter، وكذلك احتياطات لمنع تسرب مياه تبريد المفاعلات النووية إلى المياه الجوفية. ومن المعروف أنه بانشطار مادة اليورانيوم ينتج تقريبًا 300 Isotopes من النظائر المشعة التي تملك اختلافات في أعمارها النصفية وهذه المواد يجب من وقت إلى آخر إخراجها من المفاعلات النووية، لأن هذه البقايا تمتص كثيرًا من النيوترونات، ولهذا تخفف من عمليات الانشطار. ولكن المشكلة أين يجب وضعها لتكبح إشعاعات بقايا هذه الحصالات النووية الخطرة المشعة التي نعطي هنا طاقة إشعاعاتها علميًّا بالمائة:

منها تقريبًا 80% مواد مشعة بطاقة ضعيفة

ومنها تقريبًا 19% مواد مشعة بطاقة متوسطة

وكذلك تقريبًا 1 % مواد مشعة بطاقة مرتفعة

ولحفظ الإنسان والمادة والطبيعة والوقاية من حثالة وخطر إشعاعات هذه المواد النووية فكر علماء الفيزياء والبيئة بتخزينها وحفظها في مناجم الملح الطبيعية للأسباب التالية:

1 – لأن أحجار الملح الطبيعية الموجودة في عمق المناجم تبعد هذه المواد المشعة عن الهواء والغاز والتفاعل الخارجي، أي ما نسميه بالدورة Bio cycles.

2 – ولأن مناجم الملح العميقة عندها عملية انتقال الحرارة لاضمحلال المواد المشعة.

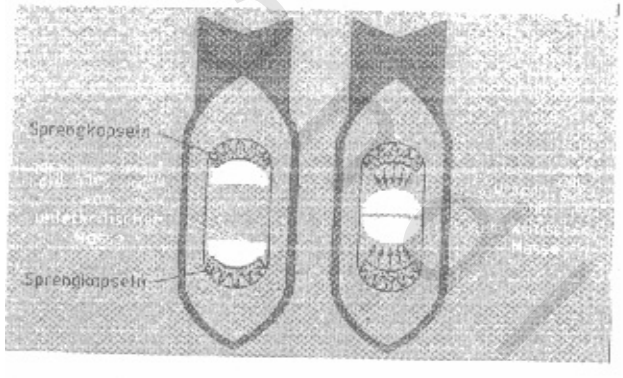
3 – ومناجم الملح هي الوسيلة البسيطة وكذلك الرخيصة لحفظ المواد المشعة ومنع تسرب إشعاعات هذه المواد إلى الهواء والمياه وغيرهما.

16 . 10 القنبلة الذرية أو قنبلة الانشطار النووي

إلقاء القنبلة الذرية على اليابان أواخر الحرب العالمية الثانية وإبادة المدن وعدد كبير من سكانها بتاريخ 6.8.1945 على Hiroshma، وكذلك من بعد ثلاثة أيام

من تاريخه ألقيت القنبلة الثانية على Nagasaki؛ فكانت لحظة محزنة في تـــاريخ الفيزياء النووية؛ لأنه في الوقت الذي اكتشفت فيه طرق انشطار الذرة كان التفكير في استعمال هذا الانشطار المتسلسل لإنتاج الطاقة للمـــصالح الإنـــسانية والعلميـــة والأمنية.

وكذلك فكر Fermi في ذلك الوقت بإنشاء أول مفاعل نووي ووضـــعه لخدمـــة الإنسانية، ولكن كثيرًا غيره من العلماء في ذلك الوقت اتجهوا إلى تحويل قدرة هذه الانشطارات النووية المتسلسلة غير المتحكم بها للقضايا الحربية والتخريبية وإبـــادة الإنسانية والبيئة، وعن طريق هذا التفكير العلمي المنحرف وجدت وصنعت القنبلة الذرية الأولى المؤلفة من قطعتين من المواد القابلة للانشطار بدون مخفف بينهمـــا، كل قطعة منهما بشكل نصف كرة من عنصر اليورانيوم U^{235} الـــصافي أو مـــن عنصر Plutonium Pu^{239} السريع الانشطار.



وهذان النصفان بدون تقارب سريع يحدث تفاعلهما في حالة الركون، أي خارج الكتلة أو الحالة الحرجة، أي عامل التناسل أصبح أصغر من واحد $K< 1$ بـــسبب أن نصفي مادة الانشطار هذه مفترقان متباعدان بمسافة محـــددة لحـــساب عمليـــة التناسل حسب الصورة، أي أنهما موجودان في داخل القنبلة بشكل نصف كرة فـــي الأعلى ونصف كرة في الأسفل، وهذان الاثنان مغلفان داخل القنبلة بغلاف معـــدني صلب سمي علميًا الـــ Tamper. وظيفة هذا الغـــلاف حفـــظ كـــل النيوترونـــات الموجودة لئلا تنحرف فتخرج إلى الخارج وتضعّف عملية الانشطار المتسلسل في

وقت الانشطار، وهنا كذلك وراء أو خلف كل نصف كرة من مواد عنصر الانشطار توجد حشوة من المواد المتفجرة، وبعملية تفجير هذه المتفجرات في وقت واحد يحدث تقارب سريع بين نصفي الكرة حسب مسافة الطول الحرة λ تحت ضغط هذه المتفجرات لمواد نصفي الكرة القابلة للانشطار، وفي عملية اصطدام هذين القسمين، أي نصفي الكرة مع بعضهما البعض، وبمساعدة النيوترونات هنا كعامل لتناسل الكتلة الحرجة، وكذلك المسافة λ في هذه اللحظة تحدث عملية الانشطار، ولذلك يكبر عامل التناسل K ويصبح أكبر من واحد $K > 1$ ويحدث الانفجار النووي بسرعة فائقة أعطي وشرح حلها سابقًا تساوي تقريبًا 10^{-6} sec ولقد ذكر علميًّا أن القنبلة الأولى التي صنعت وألقيت على Hiroshima كانت كتلتها تساوي تقريبًا 15 كلغم من عنصر اليورانيوم الصافي $_{92}U^{235}$، وطاقة انفجارها التخريبي تساوي أو تعادل تقريبًا بوحدة الكلغم 20 000 kg TNT المعادلة لطاقة مادة الـ TNT المتفجرة المعروفة كيميائيًّا بالاسم الحربي التالي $C_6H_2.CH_3.(NO_2)_3$، المختصر بالاسم العلمي للمادة بالاصطلاحية الـ TNT = Trinitrotoluol.

وأما بما يختص بعملية حساب أو حل معادلات القنبلة الذرية كان سرًّا ويبقى كذلك سرًّا، ويجب على كل فيزيائي نووي بأن يتعمق بمواضيع الفيزياء ليصل إلى مكنون الحل المقصود. وهنا للمساعدة بهذا الموضوع وجدت طريقة علمية خاصة بشخصي كاختصاصي علمي في الموضوع النووي، وجدت حلاً خاصًّا بمعادلات بسيطة يعادل علميًّا وتقريبًا وجود الطاقة وكمية الكتلة للقنبلة الذرية، ولكن لمن؟ للأسف مضى وقت لما كانوا العرب في إسبانيا يزنون العلماء بالذهب والأحجار الكريمة إذا وجدوا شيئًا جديدًا، ولكن الآن يجب ألا ينشغل العالم العربي بقضية العلوم والفيزياء النووية أو غيرها لأنه لا يهم البعض منهم إلا القدح والأنثى والسيارة ولا حياة لمن تنادي.

إن إلقاء القنبلة الذرية في ذلك الوقت على اليابان كان كارثة إنسانية تشابه مرور حلم مخيف على العالم والبيئة والطبيعة، ولكننا لم نعِ ولم نتعلم من أخطائنا. وهذه

القنبلة قضت بالموت المحتم في اليابان على عدد كبير من السكان والبيئة والطبيعة وبقيت كارثة إنسانية لأجيال كثير من المصابين بالإشعاعات الباقية الأبدية.

وهنا نشرح بعض النقاط العلمية عن الحرارة والطاقة المنتجة والضغوط من الانفجار بأمثلة حل تطبيقية:

الحرارة المنتجة من الانفجار النووي

مثلاً إذا كانت كل نواة ذرة طاقتها تساوي 3.10^{-10} جول فإن مجموع نوى ذرات كلغم واحد من عنصر اليورانيوم يملك طاقة تساوي x ؛ يجب أولاً للحل معرفة كم نواة ذرة توجد في كلغم من عنصر اليورانيوم ؟

يوجد في كلغم واحد من هذا العنصر حسب المعادلة التالية:

$$6{,}023.10^{23}.1000gr / 235\ gr = 2{,}5.10^{24}\ Atom$$

والحرارة المنتجة من انشطار كلغم مادة اليورانيوم بوحدة الجول تساوي حسب المعادلة المعروفة سابقًا الحل التالي:

$$2{,}5.10^{24} \cdot 3.10^{-11} = 7{,}5.10^{13}\ Joule$$

والحرارة المنتجة في وقت الانفجار وجدت بوحدة الجول تساوي تقريبًا بوحدة الحرارة الطبيعية عشرة ملايين درجة حرارية $10.10^{+6}C°$ وهذه القنبلة في تمددها في لحظة الانفجار إلى كرة ملتهبة قطرها تقريبًا يساوي 100 متر، وحرارتها تساوي 7000 درجة حرارية تعادل تقريبًا الطاقة الحرارية على وجه الشمس، وكذلك ضغوط مرتفعة لا يتخيلها العقل ومثال على ذلك:

عامة قدرة الضغط P تساوي طاقة الضغط المتفرقة بالتساوي على مسطح مقسومة على مساحة هذا المسطح تعطى بوحدة النيوتون في المتر المربع ال N/m^2 حسب المعادلة التالية:

$$P = F / A = F / d^2.\pi / 4 = N/m^2$$

إما تعطى بوحدات الـ Pascal =pa وإما بوحدات الضغط القديمة at = bar المساوية الاصطلاحات التالية:

$$1pa = 1.N / m^2 = 10^{-5}\ bar$$

ومن بعد الانفجار تبقى أصناف عديدة من المواد المشعة من بقايا الانشطار حاملة وباء مشعًّا خطرًا لآلاف السنين على الإنسان والبيئة والطبيعة.

في الوقت الحاضر يوجد عدة أنواع من القنابل في الدول العظمى منها القنابل التالية:

1 – قنابل انشطار نوى الذرات الصافي المطلق Fission.

2 – قنابل سيلان نوى الذرات المنصهرة (H-bomb) = Fusion.

3 – القنابل الذرية المنشطرة المنصهرة.

4 – القنابل الذرية ذات الأطوار الثلاثة (المنشطرة المنصهرة المنشطرة) FFF Bomb.

5 – القنابل الذرية المنشطرة المنصهرة مع المواد X أو القنابل القذرة.

ومن عمليات هذه القنابل سوف نأتي على شرح تقريبي مفصل للبعض منها:

A– سلاح نوى الذرات المنصهرة أو القنبلة الهدروجينية

هذه القنابل يعود تفاعلها إلى عمليات الانصهار الحراري للنوى أي Thermos Nuclear.

وتفاعل هذه العمليات يجب أن نعرف أنه يحدث تحت وجود طاقة حرارية وضغوط مرتفعة تساوي تقريبًا 10^{+6} K، وهذا معناه والمقصود به أن المواد المستعملة لعملية الانصهار هذه يجب بتفاعلها ألا تصل حرارتها إلى 10^{6} K. وعملية الانصهار تحدث بدخول العملية البدائية عن طريق الحرارة، لذلك ترتفع طاقة الانصهار بالتتابع كعملية التفاعل التناسلي في النوى. ولهذا السبب عدد كبير من مواد الانصهار أو كمية المواد الكاملة تنفجر ويحدث الانفجار الانصهاري أو القنبلة الهدروجينية H Bomb.

وعملية هذا التفاعل تقابل أو تشابه عملية بدائية لاشتعال أو انفجار حشوة بارود أسود قديمة عن طريق صاعقة أو كبسولة.

أولاً: هذه العملية تساوي عملية إحداث الاشتعال Spark or ignition بحرارة مرتفعة.

ثانيًا: بتتابع اشتعال البارود الموجود في الحشوة يحدث الانفجار، ولهذا السبب يلزمنا كذلك لإشعال ignition القنبلة الهدروجينية كبسولة حرارتها تفوق 10^6 K وهذه الحرارة لا توجد إلا في الشمس أو في عملية انفجار القنبلة النووية، ولهذا نأخذ كأداة تشعل أو آلة تشعل، أي الكبسولة Spark or ignition القنبلة الذرية الانشطارية المبنية من عنصر اليورانيوم U^{235} ، أو من عنصر الـ Plutonium Pu^{239} نضعها في داخل القنبلة الهدروجينية المحاطة بغلاف من المواد القابلة للانصهار. هنا في هذا المثل العلمي أخذنا مادة الانصهار مادة ال Lithium deuterium = (LiD)، وفي استعمال عنصر ال$_3Li^6$ الموجودة به كمية 7,4% من العنصر الطبيعي المخلوط والقسم الباقي المساوي $_3Li^7$ 92,6% فإن هذا غير صالح لعملية الانصهار ولكنه صالح لعملية الإشعال Spark، ولكن عن طريق حرارة مرتفعة بانفجار القنبلة الانشطارية التي تعمل عمل الكبسولة لإنتاج الحرارة الواجبة 10^6 k ليتفاعل الانصهار في الداخل والتي سبق وشرحنا عملية تشابهها بانفجار شحنة البارود الأسود البدائية. وهذه العمليات التفاعلية للانصهار نضعها بالمعادلات التالية:

$$_3Li^6 + {}_0n^1 \rightarrow {}_2He^4 + {}_1T^3 + 6{,}4\ MeV$$

$$\downarrow\ {}_1T^3 + {}_1D^2 \rightarrow {}_2He^4 + {}_0n^1 + 17{,}6 MeV$$

ولتحضير وتفاعل عمليات الانصهار يلزمنا كذلك النيوترونات وهذه توجد بغزارة عن طريق الانفجار الانشطاري في داخل القنبلة والعملية الناتجة نظهرها بالمعادلة التالية:

$$_3Li^6 + {}_1D^2 \rightarrow 2 \cdot {}_2He^4 + 2 \cdot {}_0n^1 + 22{,}2\ MeV$$

لقد وجدنا هنا بأنه من نواة ال Lithium وكذلك من نواة ال Deuterium انشقت نواتان اثنتان من الهليوم $2 \cdot {}_2He^4$ بطاقة مرتفعة جدًّا.

وكذلك فكرنا هنا علميًّا وفيزيائيًّا إذا كانت الكمية الباقية من الTriton كافية لتحدث العمليات المتتابعة التي نظهرها بالمعادلة التالية:

$$_1T^3 + {}_1T^3 \rightarrow {}_2He^4 + 2.{}_0n^1 + 11{,}3\ MeV$$

والمقصود بهذه العمليات لتفهم تتابع دورات الانصهار يجب أن نظهرها بالمعادلات التالية:

$$_3Li^6 + {}_0n^1 \rightarrow {}_2He^4 + {}_1T^3 + 4{,}6MeV$$
$$\downarrow {}_1T^3 + {}_1T^3 \rightarrow {}_2He^4 \quad + 2.{}_0n^1 + 11{,}3 \quad MeV$$
$$3Li^6 + \downarrow {}_0n^1 \rightarrow {}_2He^4 + {}_1T^3 + 4{,}6\ MeV$$

هنا في هذه العملية نواتا الـ Lithium الاثنتان انشقت منهما ثلاث نوى هليوم بدون استعمال الـ Triton.

لقد وجد عامة، ولذلك نقول بأنه يوجد كذلك صف طويل غير هذه المواد مواد قابلة كذلك لعمليات الانصهار في قنابل الانصهار التي تعطي كذلك نفس مفعول الانصهار. وهذه المواد سوف نتحدث عن مفعولها في شرح القنبلة ذات الأطوار الثلاثة.

B- قنبلة الأطوار الثلاثة 3 Phase BombFFF

هذا السلاح ضخم القدرة والطاقة طور عن طريق قنابل الانصهار العادية وهذا التطور ليس إلا زيادة تبطين قنابل الانصهار بغلاف من عنصر اليورانيوم U238 الطبيعي، وهذه القنابل ذوات الأطوار الثلاثة مبنية في داخلها قنبلة الانشطار كما ذكرنا كالصاعقة التي تقوم بوظيفة صاعقة الإشعالIgnition Sparks، وهذه مغلفة أيضًا بمواد انصهار في الوقت الذي هذه كذلك محاطة بعنصر اليورانيوم U^{238} وعملية تفجير هذا السلاح الضخم تحدث كما يلي بعملية انفجار قنبلة الانشطار حسب الطريقة المعروفة التي شرحت في عملية انفجار قنبلة الانشطار الموجودة في الداخل التي تعطي بانفجارها حرارة مرتفعة، وكذلك عددًا كبيرًا من النيوترونات، وهذه الحرارة المرتفعة لأكثر من 10^{+6} K تصهر مواد الانصهار، وكذلك بعملية انشطار عنصر اليورانيوم U^{235} المغلف عن طريق النيوترونات السريعة والحرارة المرتفعة يحدث الانفجار الضخم ولهذا نقول عن هذه القنابل السلاح ذي الأطوار

obeikandl.com

الثلاثة المختصرة بالاسم FFF (انشطار، انصهار ، انشطار).. وقدرة تخريب هذه الأسلحة الضخمة جدًّا تساوي تقريبًا 15.10^6 Tonen TNT خمسة عشر مليون طن من المتفجرات، وحسب الحساب وللمقارنة تساوي طاقة وقدرة تخريب كل قنبلة من هذا السلاح عدة مرات قدرة مجموع القنابل التي سقطت في الحرب العالمية الثانية، ومنها ما يقارب الكمية التالية المساوية $1,3.10^{+6}$TnT سقطت على ألمانيا في هذه الحرب.

ولهذا نستطيع أن نقول إن هذه القنبلة طاقتها تساوي عشر مرات ما سقط من القنابل في الحرب العالمية الثانية.

17 ربح أو كسب الطاقة النووية للقضايا السلمية

لهذا نعود ونذكر حرفيًّا ما قاله O Hahn الباحث الألماني المكتشف انشطار نواة الذرة في هذا الموضوع لإمكانيات التفاعل النووي حرفيًّا باللغة الألمانية:

"Moechten die ungeheueren Moeglichkeiten, die mit der Verwertung der Kernumwandlungen verbunden sind, zu

Segen der Menschheit und nicht zu ihrer Vernichtung fuehren Otto Hahn

" تريدون استعمال كل إمكانيات هذا المخيف العظيم الناتج والمتعلق فعله وقدرته بتفكك نوى الذرات المتماسكة المترابطة لمباركة وخدمة الإنسانية أم لإبادة العالم؟"

بهذا القول أراد الباحث الألماني لفت أنظار العلماء الفيزيائيين قبل أن تصنع القنبلة الذرية، لأنه كان يعرف تأثيرات هذا التفاعل المخيف المتحكم به وكذلك غير المتحكم به بانشطار نوى الذرات من أخطار تحصل لإبادة البشرية في حالة الانشطار غير المتحكم به، وكذلك تأثير هذا الانشطار لما يكون هذا الانشطار متحكمًا به كشيء مبارك من الله لخدمة البشرية في الاقتصاد والرفاهية بطاقة موجودة لحياة آمنة. وهنا نأخذ عملية الانشطار المتحكم به للمصالح الإنسانية والأمنية، ونقصد بها عمليات الانشطار المتحكم بها في المفاعلات النووية وهذه المفاعلات بني منها عديد من الأصناف والأنواع وهنا نحدد أن المفاعلات النووية

ليست إلا مشاريع نووية مبنية بطرق تتحكم بتفاعل الانشطارات المتسلسلة ومنهم المفاعلات النووية التالية:

1 – المفاعلات النووية للأبحاث العلمية.

2 – المفاعلات النووية المنتجة للطاقة.

3 – المفاعلات النووية التناسلية أو المولدة عناصر U^{233} و Pu^{239} كمواد للقنابل الذرية ومواد احتراق للمفاعل وللأبحاث وتوليد الطاقة.

1 – المفاعلات النووية للأبحاث العلمية

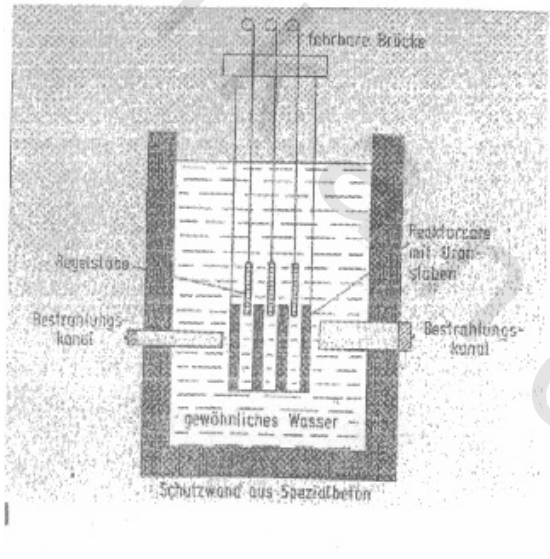
المقصود بهذه المفاعلات أولاً وخاصة إنتاج النيوترونات الحرارية والحرارة، وذلك بطرق تقنية النيوترونات السريعة إما للأبحاث العلمية والتطبيقية في مجالات علم الذرة وغيرها من العلوم الحيوية والطبية والتكنولوجية، وإما ما يختص بالحرارة الناتجة من تفاعلات الانشطار لتوليد الطاقة كما هو واجب عامة في المفاعلات النووية للأبحاث.

وهذه النيوترونات المنتجة من المفاعلات النووية للأبحاث العلمية تتميز بعدة حالات ولها خاصية معطاة بالاصطلاحية التالية Φ = Neutrons flux، أي تماشي سيل أو سيلان النيوترونات والمفهوم هنا بسيل النيوترونات في المفاعلات النووية المعطى بالحرف Φ هو حاصل القسمة Quotient لأعداد النيوترونات Δn في الوقت Δt مقسوم على تحركات النيوترونات المقذوفة عموديًّا على المساحة ΔF حسب المعادلة التالية:

$$\Phi = \Delta n / \Delta F \, . \, \Delta t$$

من الطبيعي أن سيلان النيوترونات في المفاعلات النووية لا يكون متساويًا في كل جهات حوض المفاعل، وهذا السيل يساوي تقريبًا عدد النيوترونات بين إلى. $\Phi = 10^{13}$ cm^{-2} s^{-1} to 10^{10} نيوترون في السنتم المربع والثانية والمقصود ببناء مفاعلات الأبحاث كما ذكرنا هو إنتاج النيوترونات للأبحاث الحيوية والبيئية والطبية والكيميائية والتكنولوجية ومن الممكن الحربية ومن أراد التعمق في هذا الموضوع ما له إلا الرجوع إلى كتاب المؤلف كمراجع علمية نظرية بيئية تطبيقية

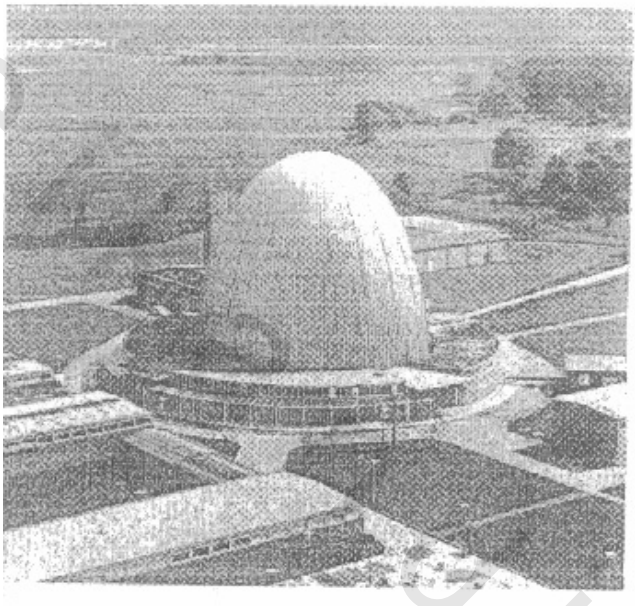
(الذرة والإنسان والمادة والطبيعة). وفي مفاعلات الأبحاث هذه عن طريق الانشطار يتزايد سيلان النيوترونات، ولذلك ترتفع الحرارة غير المرغوب بها، وللوصول إلى حل لتخفيض هذه الحرارة فكر العلماء ببناء مفاعلات مبردة للحرارة وليس لاستعمالها، ولكن لإنتاج النيوترونات أخذت المادة الأرخص حسب الجودة والبساطة: المياه الطبيعية. ومفاعلات الأبحاث خاصة مبنية من أحواض أسمنتية خاصة عمقها بين 7 إلى 10 أمتار ممتلئة بالمياه الطبيعية، في داخلها قلب المفاعل الحامل مواد الاحتراق Reactor Core المؤلفة عامة من عنصر اليورانيوم U^{235} المخصب بين 3 إلى 5 كلغم المحفوظة والمغلفة برقائق صفائح الألمنيوم الحافظة من الهواء والتآكل.



وهذه التحفظات تساعد على عدم تسرب الإشعاعات إلى الخارج لحفظ البيئة والمياه الجوفية وذلك هو المهم، بإبقاء بقايا المواد المحترقة وبقايا عناصر الحصيلة النووية محفوظة في هذه الصفائح.

وعملية تشغيل هذه المفاعلات تتم كالتالي: يوجد في أعلى الحوض جسر متحرك وهذا الجسر حامل القلب Core كاملاً، ومزود بقضبان طويلة ساقطة في الحوض بين صفائح مواد الاحتراق حاملة مواد التخفيف أو الكبح لعمليات التحكم بالمفاعل وعمليات التحكم الذاتية تسير عمليات التفاعل والانشطار وكذلك عمليات تخفيف طاقة سيلان النيوترونات وقطع التفاعل وإيقاف المفاعل. وهذه المفاعلات والمهم ما فيها إنتاج النيوترونات للأبحاث، مزودة بفتحات بشكل أنفاق صغيرة تصل تقريبًا إلى الCore كمخارج للنيوترونات التي تستعمل للأبحاث ولقياس تأثيراتها بقذف هذه على المواد للتصوير ولدراسة تفاعلاتها كذلك في المواد الحيوية والمعدنية

إلخ.. وإنهاء أطروحتي في ذلك الوقت بوجود التصوير لأول مـــرة بالنيوترونـــات السريعة، وكذلك تصميم الكاميرا الفيزيائية للتصوير بهذه الإشعاعات النيوترونيـــة السريعة حققت جودتها وتشغيلها بمساعدة نيوترونات مفاعل الأبحاث الموجود فـــي مونيخ والتابع لكلية الهندســـة التـــي تخرجـــت منهـــا Technical University Muenchen .

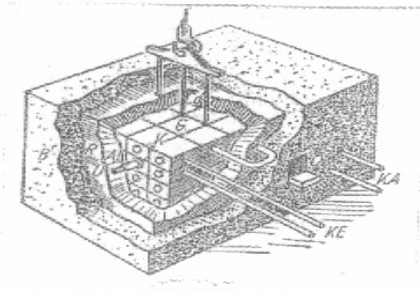


وبصفتي خريجًا في ألمانيا الغربية في ذلك الوقت غير الشيوعية أحببت أن نلقي سويًّا نظرة على المفاعلات النووية الألمانية وكيف صممت؛ وأقول إن أول من فكر في تصميمها العلماء الألمان ومن الممكن كذلك Fermi قبل تصميم القنبلة الذريـــة من الأمريكان وغيرهم.

17 . 1 تطور بناء المفاعلات النووية في ألمانيا

من بعد ما اكتشف ووجد الباحث العلمي الألماني O Hahn انشطار الذرة ووجد هذا الاكتشاف في غضون بداية زمن هتلر الزاهر عنصريًّا ووطنيًّا والاستعداد لحكم العالم.

في ذلك الوقت نستطيع أن نقول إن ألمانيا كانت في ذلك الوقت من البلدان القائدة في الفيزياء النووية، ولكن في البداية كانت هذه العلوم الفيزيائية غير مدعومة من الدولة ولكن رجال الحرب الألمان كانوا يرغبون ويتمنون استثمار هذه الطاقة للقضايا الحربية وبنوا المؤسسة العلمية المعروفة في ذلك الوقت في برلين Kaiser Wihem Institutes، وهي مركز أبحاث خاص للتعمق في قضايا تقسيم النواة وانشطارها المتسلسل، ولتحقيق تطبيق هذه البادرة العلمية واختبارها أمنيًّا قبل أن تصنع حربيًّا، لهذا بني أول مفاعل نووي للاختبار وظهر في ذلك الوقت بأن المياه الثقيلة هي أجود مخفف للنيوترونات. وعن قضية التسابق العلمي والحربي بين الدول في ذلك الوقت وجد كذلك في أميركا مخفف للنيوترونات سمي فحم البترول الـ Petrol cooks ، وكمخفف نووي أعطى نتيجة جيدة، ولكن في ألمانيا في ذلك الوقت خريف 1940 استعمل لهذا المفاعل النووي للاختبار الأولي كمواد احتراق العنصر U3O8 مغلفًا بمادة الـ Paraffin كمخفف للنيوترونات، لأن المواد مثل المياه الثقيلة لا توجد بكثرة. وباستعمال العنصر U3O8 والمخفف الـ Paraffin أنزل عامل التناسل K إلى أصغر من واحد k<1 وهذا الاختبار أعطى نتائج حسنة للمتابعة والتكامل الأجود. ولهذا بني معمل Norsk Hydro في النرويج (Norway) لعمل وإنتاج المياه الثقيلة الذي وصل إنتاجه في سنة 1942 إلى 200 لتر تقريبًا في الشهر من المياه الثقيلة D_20، ولكن تضييق حرب الحلفاء على ألمانيا وتفجير مراكز العلوم والتقنيات وهربًا من القنابل التي ألقيت على مراكز الأبحاث الألمانية، شيد كذلك في مدينة Leipzig المعروفة مفاعل تجارب كالمفاعل النووي الألماني نظهره بالصورة التالية:



Schema eines Uran-Graphit-Reaktors

كانت مواد احتراقه سحيق من اليورانيوم المكبوس بشكل كرة وزنها 750 kgr وقطرها يساوي 74 cm، معزولة ومحاطة تقريبًا بغلاف حجمه 220 لتر من المياه الثقيلة D_2O. وهذا المفاعل النووي شغّل في نيسان 1942 تبين وظهر بأنه يبث ويعطي نيوترونات إلى الخارج أكثر مما يستوعب في الداخل، وكذلك عامل التناسل أصبح يساوي واحدًا K = 1 وهذا ما دّل على أن الانشطارات تتناسل وتتفاعل كما صمم، ولهذا فكر بصنع سلاح ذري ضخم كما هدد هتلر العالم في ذلك الوقت بسلاح ضخم قدرته قادرة بأن تخرق الكرة الأرضية ولكن من حظ العالم في حرب ذلك الوقت أن الاقتصاد الألماني كان في انهيار متواصل، ولتخصيب اليورانيوم يلزمهم أدوات عديدة باهظة الثمن لبناء مشروع التخصيب. هنا الأمريكان استغلوا هذه الفرصة في ذلك الوقت لضعف الألمان الاقتصادي في أواخر الحرب العالمية الثانية، وبنوا أدوات التخصيب العديدة لإنتاج اليورانيوم المخصب الكافي لبناء القنبلة الذرية كما تفعل دولة العجم في وقتنا الحاضر وكذلك في ذلك الوقت، الأمريكان وحلفاؤهم لم يتركوا المجال للعلماء الألمان والدولة النازية، وكذلك عملوا على تخريب ما صممه الألمان عن طريق تزايد الغارات الجوية والقنابل المتساقطة حتى على المفاعل والمختبرات والمراكز العلمية التي نقلت من المدن إلى كهوف الجبال المعروفة بالحرب العالمية الثانية إلىHeigerloch bei Hechingen وفي تاريخ 1945.4.23 استولت على هذا المركز النووي للمفاعل القوات الأميركية وهذا كان آخر مسار المفاعل والأسلحة النووية الألمانية.

ولكن الأميركيين سبقوا التسارع العلمي والتقني الألماني بسبب اقتصادهم ببناء المفاعلات النووية والقنبلة الذرية. وفي مدينة Chigago تاريخ 1942.2.12 شغّل أول مفاعل نووي في أميريكا صمم من الفيزيائي الإيطالي Fermi وبدعم علماء الفيزياء لمعرفة التحكم بالانشطار المتسلسل عرفت كذلك طريقة غير التحكم وعلى هذا النمط اشتقت القنبلة الذرية التي ألقيت على Hiroshima في اليابان تاريخ 1945.8.6 وهنا بدأ التسابق الشيوعي الأميركي لبناء الأسلحة النووية وكذلك في العالم أجمع.

17. 2 فاعلية إنتاج المفاعلات النووية المبنية من اليورانيوم والغرافيت Uranium & Graphite

هذا النوع من المفاعلات بني قديمًا ولم يزل في عديد من البلدان. وعملية تفاعله ممكنة عن طريق اليورانيوم الطبيعي أو اليورانيوم المخصب اصطناعيًا . ومخففات هذا المفاعل مأخوذة كذلك من مادة الـ Graphite، ومن المعروف بأن هذه المادة صالحة كمخفف لتخفيض وكبح سرعة النيوترونات. وهذه المفاعلات كذلك مبنية كاملاً وكليًّا من مربعات مادة الـ Graphite بشكل كتلة كاملة من هذه المادة طول أضلاعها بين الأربعة إلى ثمانية أمتار حسب قدرة المفاعل.

وهذه الكتلة مخرقة بعديد من الثقوب الموجود في داخلها قضبان عنصر اليورانيوم المغلفة برقائق الألمنيوم، أي أن هذه القضبان حاملة مواد الاحتراق Burning Elements والنيوترونات المنبعثة من اليورانيوم التي حسب طول خرق مسافتها $\lambda = 1/6N_L$ في المخففات تضعف سرعتها قبل أن تلتقط من نواة اليورانيوم ..هنا هذه النيوترونات تضعف في طريق مسارها في المادة المخففة حتى تفقد طاقتها الحركية كاملاً فإن جوانب هذا المفاعل وقعره وغطاءه كما ذكرنا مبنية بشكل كتلة Block من مادة الـ Graphite كمادة عاكسة Reflector للنيوترونات المنحرفة لتعود إلى الداخل حتى لا تتعدى الكتلة أو الحالة الحرجة لعامل التناسل K العدد الواحد وللتحكم بهذا المفاعل يوجد عديد من القضبان المبنية من مادة Bor Steel، أو من بور الـ Bor carbide أو من المادة المعروفة الـCadmium التي تتحرك ذاتيًّا Automatic إلى داخل المفاعل أو الـBlock وهذه القضبان أولاً وظيفتها كمادة ماصة وكابحة، وكذلك مزودة لقياس كثافة وسيلان النيوترونات، وكذلك تحركها معلق بالمسير الذاتي للتحكم بطريق سير تفاعلات انشطارات المفاعل وتثبيت عامل التناسل ليثبت ويبقى $K = 1$ يساوي واحدًا.

وفي داخل هذا المفاعل أو البناء يوجد كذلك ثقوب كبيرة، أو بالأحرى أنفاق للنيوترونات المخصصة للأبحاث عامة وخاصة لتأثيرات سيلان النيوترونات في عامة المواد الحيوية والمعدنية إلخ..

فإن أكبر وأقدم مفاعل من هذا النوع من المفاعلات الموجـود فـي الولايـات المتحدة USA في ولاية Hanford ينتج موادًا للقنابل الذرية U^{235} الصافية وكذلك عنصر ال Pu^{239}.

ويعمل في هذا المفاعل أكثر من 5000 عالم وعامل، وينتج هذا المفاعل كـذلك طاقة كهربائية حسب تشغيله العادي كمفاعل نووي للطاقـة تقـارب أكثـر مـن مليون 1.10^{+6} K watt.

17 . 3 المفاعل النووي ذو خاصية الطاقة المرتفعة

يوجد في العالم في الوقت الحاضر عديد من أنواع المفاعلات النووية للتـسابق العلمي، وذلك لإنتاج الطاقة وكذلك عناصر الحشو للقنابل الذرية وهذه النقاط التـي ذكرت هي خاصة بالمفاعل النووي ذي القدرة المرتفعة ولكن المستقبل سوف يظهر لنا الأجود والآمن للطاقات المرتفعة.

إن المفاعلات ذوات الطاقة المرتفعة High Power Reactors يعود الفـضل الأول لارتفاع طاقاتها مواد الاحتراق وأفضل ما يتطلب منها الطاقة المنتجة. وهذه المفاعلات ذوات هذه الميزات هي نقطة الهدف والاقتصاد للمفاعلات النووية فـي المستقبل ومنها ما صمم ووضع في البواخر الكبيرة، وذلك لتوليد الطاقة المرتفعـة في الغواصات وحاملات الطائرات البحرية الحربية وقبل أن ندخل فـي مواضـيع المفاعل ذي القدرة المرتفعة يجب أن نلقي نظرة عامة علـى تكنولوجيـا الطاقـة العالمية، والكمية الموجودة من الطاقة، وما يستعمل منها وكم يلزمنا مـن طاقـات بسبب تضخم استعمال الطاقات، وما يتبقى في المستقبل مـن الطاقـات الطبيعيـة والصناعية وأي طاقة نجدها ونستعملها ؟

وحدة طاقة الفحم الحجري باللغة الألمانية تعطى بالاصـطلاحية التاليـة SKE والمقصود بها أن كل كلغم من الفحم الحجري طاقته تساوي بوحدة الجول المعادلة التالية:

$$1\ \text{Kgr SKE} = 29{,}3.10^{6}\ \text{Joule}$$

$$1\ \text{Joule} = 1\text{wse} = 1\text{Nm} = 1\text{Kgr.m}^2/\text{Sec}^2$$

وحسب دراسات مركز الأبحاث العلمي الألماني للطاقة Geo wissenschaften يوجد في العالم إلى الآن من المتحجرات الطبيعية Fossilizes ما يقارب $12,5.10^{12}$ Tons، استعمل منها حسب الاقتصاد التكنولوجي تقريبًا 7,15 % وتبقى منها حسب حل المعادلة التالية تقريبًا 890.10^{9} Ton .

$$X = 7,15 \ . \ 12,5.10^{12} / 100 = 890.10^{+9} \text{ Tons}$$

إذا كان العالم أجمع يستوعب كما هو معروف من المتحجرات الطبيعية سنويًّا طاقة تساوي تقريبًا 9.10^{9} Tons فإن الطاقة الباقية تدوم تقريبًا 100 سنة لا غير.

ولهذه الأسباب الطارئة لتضخم استعمال الطاقة وبدون تعجب في العالم أجمع يهتم العلماء باكتشاف ينابيع طاقات جديدة، وإلى الآن تبين بأن الطاقة الوحيدة التي عملت تغطية إيجابية في وقتنا الحاضر للاقتصاد والرفاهية والخطر في العالم هي الطاقة النووية.

وهذه الطاقة النووية المساوية والمعادلة في العالم أجمع تقريبًا: $1,7.10^{12}$ Tons SKE تغطي قسمًا من الطاقات المتحجرة ومن الممكن تغطية ما يلزمنا من طاقة لمدة 450 سنة.

والمهم لتغطية الطاقة الواجبة في المستقبل بتزايد الحاجة الماسة للطاقة وجود طاقات جديدة مرتفعة القدرة مثل الهواء والماء والشمس، هنا نعود إلى الطبائع الأربع وهذا ما صممته بدراسة جديدة للمستقبل، فالطاقة من الطبائع الأربع التي منها علينا الرب الخالق.

أما في الوقت الحاضر يجب بأن نبقى على الطاقة النووية ذات القدرة المرتفعة ولكن ما نراه عامة تطبيقيًّا ونظريًّا Theoretical أنه يوجد في العالم أكثر من مائة شكل لبناء المفاعلات النووية ذات الطاقة المرتفعة، ومن هذه الكمية تبلور حسب الاختصاصيين عدد من المفاعلات على منهاج ما تتطلبه التكنولوجيا الحاضرة للاقتصاد والبيئة والأمن والطبيعة والطاقة ومنها القديم والحديث وسوف نتكلم أولاً عن القديم منها:

17 . 1.3 مفاعل المياه الثقيلة للنيوترونات الحرارية

Heterogen Reactors

حسب ما ذكرنا قبلاً عن المفاعلات Uranium Graphite كمفاعل heterogen، نرى كذلك أن مفاعلات المياه الثقيلة نوعيتها كذلك heterogen، أي المقصود بها أن تشغيلها ناتج عن طريق النيوترونات الحرارية. وهنا كذلك مفاعلات المياه الثقيلة تبنى وتوضع مواد الانشطار والمخففات مفصولة عن بعضها البعض كما في مفاعلات Uranium Graphite.

ولكن في هذه أي مفاعلات المياه الثقيلة الجديدة بدلاً من المخفف الـ Graphite تؤخذ المياه الثقيلة D_2O ومن خاصية منفعة Advantage هذه المياه الثقيلة أنها تكبح النيوترونات بطريقة أكبر وأجود، ولهذا بناء هذه المفاعل أصغر حجمًا ويوجد العديد من هذا النوع في أميركا الشمالية Chalk Canada.

17. 2.3 المفاعلات المتجانسة Homage Reactors

هذه المفاعلات المتجانسة يعود اسمها إلى تجانس خليط مواد الانشطار مع مواد المخففات أو الكابحات، والمهم في هذا المفاعل بناء حجم المفاعل المصغر المؤلف من كرة من الفولاذ الرقيق يساوي قطرها تقريبًا 30 cm مملوءة بمادة سلفات اليورانيوم، أي المقصود به عنصر الUranium Sulfate المخصب بعنصر اليورانيوم U^{235} الموجود بداخل هذه الكرة، وكذلك في داخل هذه الكرة يوجد أنبوب متعرج كالأفعى تمر في داخله مياه عادية تستعمل للتبريد وكذلك للتخفيف من سرعة النيوترونات هذه الكرة مغلفة ومحاطة بطبقة من مادة الـ Beryllium كعاكس للنيوترونات، وطريقة التحكم بهذه المفاعلات أنها تعمل بإنزال قضبان تتحرك ذاتيًّا إلى داخله من مادة الـ Cadmium وبعملية ارتفاع التركيز الجمعي Concentration ترتفع طاقته تقريبًا إلى kw 50 وقلب هذا المفاعل المقصود به الCore موجود في داخل حوض حيطانه وقاع أرضه مبنية من الأسمنت الخاص، وسميت هذه المفاعلات Waters Boiler أي غلايات المياه ..

17. 3.3 المفاعلات مياه ومياه

هذه المفاعلات من النوع المعروف عالميًّا، وهي مستعملة كمفاعلات للأبحاث العلمية فهي بالحقيقة ليست إلا مفاعلات من نوع الheterogen أي أن تفاعلاتها تحدث عن طريق النيوترونات الحرارية. المفاعل مبني من عديد من قضبان اليورانيوم بشكل شبكة موجودة في داخل حوض مملوء بالمياه العادية، وهنا هذه المياه تستعمل في نفس الوقت كمخفف وكذلك كمبرد وحافظ من الإشعاعات النووية داخل هذا المفاعل أي الCore مؤلف من 26 سلة يوجد بها 16 قضيبًا من اليورانيوم قطر كل واحد منهم 1 cm، وطوله 50 cm، وعنصر اليورانيوم مخصب بكمية 10% من اليورانيوم U^{235} الصافي؛ بسبب هذا التخصيب المرتفع يحدث إضاعة نيوترونات لإنتاج اليورانيوم U^{238} وكذلك لإنتاج Pu^{239} ، ولكن هنا ضياع النيوترونات يكون أقل من ضياعها في استعمال اليورانيوم الطبيعي؛ ولهذا السبب تستعمل هذه المفاعلات للأبحاث المنتجة النيوترونات السريعة ذات الطاقة المرتفعة، أي إنتاج النيوترونات بالطاقة المساوية 10^{13} Neutron/cm^{2}sec وبإلقاء نظرة إلى داخل هذا المفاعل نرى بأن هذه السلال أو القفف الحاملة قضبان اليورانيوم موجودة ومعلقة على ارتفاع بضعة أمتار في داخل حوض مياه المفاعل، وهذا المفاعل مزود بمضخات مياه Pomp لتحريك المياه في دائرة مغلقة تعطي حرارة هذه المياه بالتبادل الحراري، يتبعها دائرة تبريد وقدرة هذه الطاقة الحرارية تساوي تقريبًا 2000 Kw وهذا المفاعل مزود كذلك بكثير من الآلات ذاتية التحكم بالمفاعل وتحرك قضبان اليورانيوم بين المخففات، وكذلك لغيره من الأعمال الذاتية.

وهذا المفاعل مزود بكثير من الأنفاق المخصصة لإنتاج عديد من النظائر Isotope الجديدة وكذلك لقياسات تأثيرات النيوترونات مرتفعة السرعة والطاقة في الأبحاث العلمية والحيوية والتكنولوجية. وهنا مثلاً أنزلت حلاًّ علميًّا يظهر للطالب

كم يجب أن يستعمل من كمية مادة لهذا المفاعل من عنصر اليورانيوم بالغرام في النهار حتى تنتج الطاقة الحرارية المعطاة المساوية 2000Kw ؟

من المعروف أنه إذا كان كل Gram Atom من عنصر اليورانيوم U^{235} يساوي 235 ، يوجد به $6,023.10^{23}$ نواة ذرة وبانشطار كلغم واحد من U235 يعطي طاقة تساوي:

$$E = 6,023.10^{23}.1000gr.200\ MeV / 235 = 5.1.10^{26}\ MeV$$

يجب أن نعرف كم غرامًا يلزمنا في اليوم من U^{235} حتى ننتج الطاقة 2000Kw الحرارية بوحدة ال MeV الناتجة في هذا المفاعل ماء وكذلك ماء ؟؟

$$2000\ w .84400\ sec = 1,728.10^{11} Wsec$$

$$1Wsec = 6,24.10^{12}\ MeV$$

$$1,728.10^{11}.\ 6,24.10^{12}\ MeV = 1,078.10^{24}\ MeV$$

$$= 1,078.10^{24}\ gr / 5,1.10^{23} = 2\ gr.U^{235}$$

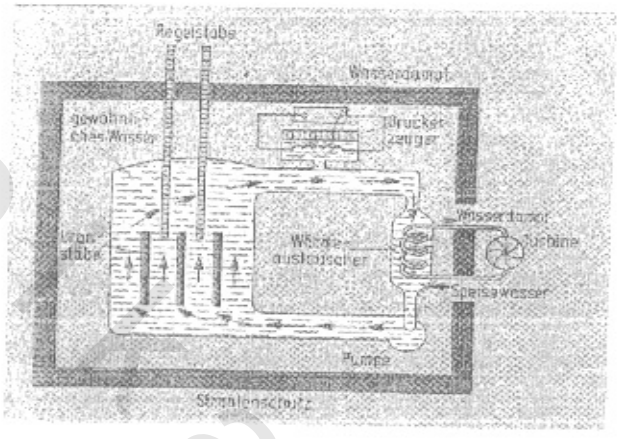
فالكمية الواجبة حتى تنتج هذه الطاقة الحرارية في النهار تساوي غرامين من عنصر اليورانيوم $2\ gr\ U^{235}$.

17. 4.3 المفاعلات سريعة التفاعل

هذه المفاعلات تتم تفاعلاتها عن طريق النيوترونات غير المكبوحة، ولكن كذلك بدون مخففات ووقود انشطار هذه المفاعلات يجب أن يكون من العناصر مرتفعة التخصيب، أو عناصر الانشطار الصافية مثلاً من قضبان Pu^{239} بسبب ضياع كمية كبيرة من النيوترونات التي تحصل عن طريق الالتقاط من جهة اليورانيوم U^{238} هذا النوع من المفاعلات السريعة موجود في USA. Los Alamos تستغل حرارته عن طريق الناتريوم السائل، ومن حسنات هذا المعدن السائل ال Natrium أنه يؤخذ كمبرد لأنه لا يمتص النيوترونات، وكذلك نقطة حرارة انصهاره تساوي 97 °C ويتبخر بحرارة تساوي تقريبًا 865 °C، وفي هذا المفاعل لا يوجد ماء أو هواء للتبريد لأن الماء والهواء لا يتماشيان مع معدن الـ Naturism والمستقبل

العلمي سوف يظهر لنا الأفضل. الآن نذكر ثلاثة أنواع من المفـاعلات الحديثـة المختصرة بالأحرف التالية A, B , C.

A – المفاعلات النووية المبردة بالمياه الطبيعية المضغوطة



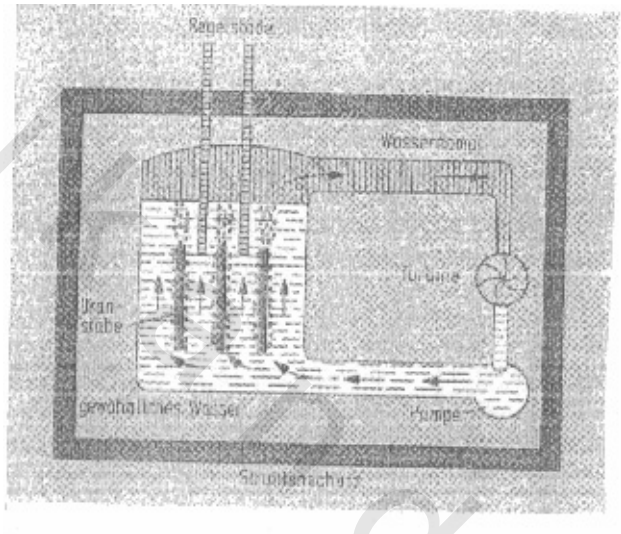
هذه الصورة تعطي صورة نموذجية لهذا النوع من المفاعلات تظهر تكنولوجية بنائهم.. عامة مواد وقود الاحتراق لهذه المفاعلات: اليورانيـوم U^{235} المخـصب ومواد مخففات، وكذلك مبردات هذه المفاعلات: المياه الطبيعية العادية.

في هذا النوع من المفاعلات يستعمل عنصر اليورانيوم UO_2 المخصب المسمى أوكسيد اليورانيوم، وهذه المواد محفوظة في قوالب أسطوانية الشكل مـن الفـولاذ الرقيق أو من قوالب مخلوطة بمادة ال Zircon حتى تمنع مواد الانـشطار فـي الداخل بألا تدخل في عمليات الدورة التفاعلية للمفاعل.. و هذه القوالب العديدة التي نسميها مواد الاحتراق متقاربة مع بعضها البعض ومعلقة في داخل حـوض ميـاه المفاعل العادية الموجودة تحت الضغط المرتفع، وهذه المياه الموجودة تحت الضغط تستعمل في نفس الوقت كمخففات وكذلك كحامل للحرارة هنـا وظيفـة الـضغط المرتفع لمياه هذه المفاعل هي منع مياه المفاعل هذه من التبخر وطريقة التحكم في هذا المفاعل تحدث عن تحريك قضبان التحكم إلى عمق داخل الـ Core أو إلـى أعلى، وهذا يعود حسب ما يطلب من هذا المفاعل للتخفيـف أو التعـالي .. هنـا الحرارة المنتجة من تفاعل الانشطار تؤخذ عن طريق المياه المضغوطة مرتفعـة

الحرارة وهذه عن طريق التبادل أو النقل الحراري لتوليد بخار يدير آلــة تــربين Turbine تشغل مولدًا Generator ينتج الطاقة الكهربائية.

وهذا النوع من المفاعلات بالمياه المضغوطة يوجد منها الكثير في العالم وهــو من نوع مفاعلات الجيل الأول للمفاعلات الحديثة.

B – المفاعلات النووية العاملة لغليان المياه الطبيعية غير المضغوطة



هذه الصورة النموذجية لهذا النوع من المفاعلات تظهر تكنولوجية بنائهــا أمــا مواد وقود الاحتراق لهذه المفاعلات: عنصر اليورانيوم المخصب ومواد مخففــات ومبردات هذه المفاعل: المياه الطبيعية العادية.

ونوع عمل هذه المفاعلات النووية العاملة لغليان المياه الطبيعية: توجد مياه هذه المفاعلات في حوض المفاعل تغطي عامة عناصر مواد الاحتراق، وعن طريــق عملية الانشطار ترتفع الحرارة، وبارتفاع هذه الحرارة تغلي المياه لتولــد البخــار الواجب لتدوير التربين Turbine الذي بدوره يشغل المولد الكهربائي لينتج الطاقة الكهربائية وهذه المفاعلات التي تعرفنا عليها: أولاً .. المفاعلات النووية بــضغط المياه. وكذلك ثانيًا المفاعلات النووية لغليان المياه نقول عنها المفاعلات النوويــة الكلاسيكية الحديثة وليست النهائية. وتسمى هذه المفاعلات مفاعلات الجيــل الأول

First generation ولكن علماء الفيزياء والتكنولوجيا ثابروا لتحسين وتطوير المفاعلات النووية من الجيل الأول وصمموا المفاعلات النووية للجيل الثاني، ومن تلك التحسينات مثلاً تحسين طرق التبريد عن طريق غاز الهليوم Helium خاصة للمفاعلات ذوات الحرارة المرتفعة جدًّا. وكذلك تغيير طرق تبريد مفاعلات التناسل المبردة عن طريق معدن الـ Natrium القابل للانصهار بدرجة تساوي تقريبًا 100°C .

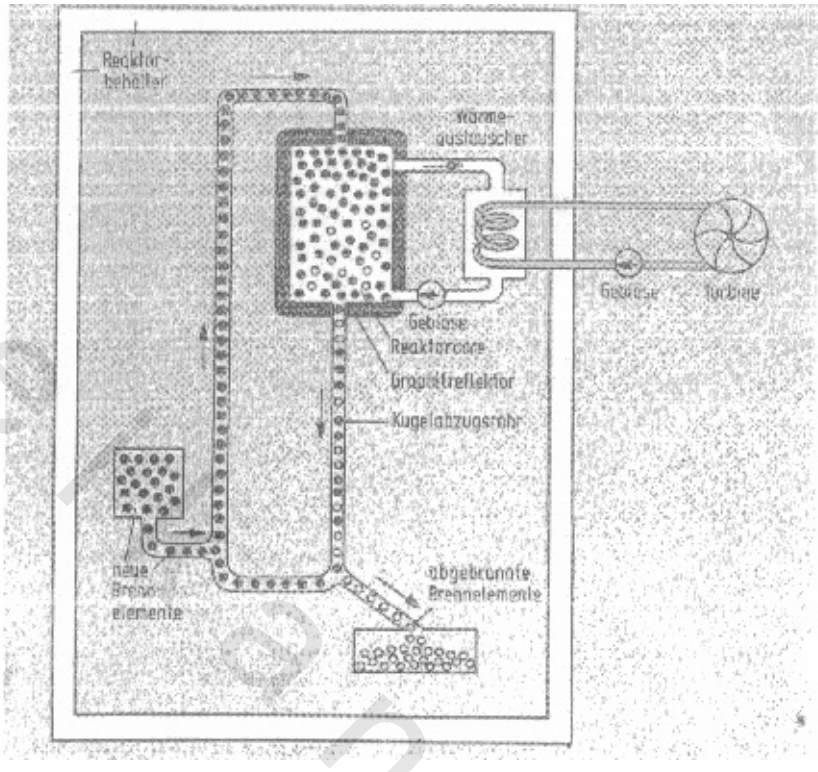
C – المفاعلات النووية ذوات الحرارة شديدة الارتفاع

إن اسم المفاعلات النووية الحرارية يعود إلى قدرة الطاقة الحرارية المنتجة من هذه المفاعلات، والتي توجد بين الـ 850°C to 900°C فإنتاج هذه الحرارة المرتفعة يعود إلى بناء وتصميم نوعية هذه المفاعلات ويكون عامل كسب هذه الطاقة المرتفعة أنسب من 40% من الحرارة الناتجة والمعطاة من بقية المفاعلات الموجودة الحالية.

إن مواد التبريد الصالحة لهذه المفاعلات بدون مقابل هي الغاز، وهذا الغاز يجب أن يكون قابلاً لنقل الحرارة المرتفعة وليس عنده قابلية الاختلاط بمواد المفاعل مثل وقود الاحتراق وغيره وكذلك من المهم بألا تتفاعل ذرات هذا الغاز بالإشعاعات الناتجة من تفاعل الانشطار وكذلك لا يضمحل، وكل هذه المطالب توجد في غاز كريم وهذه المطالب أجمع وجدت في غاز الهليوم Helium .

وقود الاحتراق لهذه المفاعلات أخذت عناصر اليورانيوم المخصب المصنوع بشكل كرات مخلوطة بعنصر الـ Thorium، وهذه الكرات سوف نأتي على وصفها لاحقًا في هذا الموضوع.

مخففات هذه المفاعلات ذوات الحرارة المرتفعة أخذت لها مادة الكربون Graphite، وهذا النوع من المفاعلات يطور ويحسن في وقت قريب في ألمانيا ويستعمل في المستقبل لبناء جودته وتأمين أضراره حتى يبنى لإنتاج الطاقة في كل أنحاء العالم.



في داخل هذه المفاعلات النووية الحرارية Reactor Core وعـــاء أســـطواني الشكل مبنى من مادة الـــ Graphite، أي كربون الفحم وحسب قدرة وضخامة هذه المفاعلات يحتوي هذا الوعاء الأسطواني على بعض المئات من كرات الكربـــون Graphite حجم كل واحدة منها يساوي حجم كرة التنس Tennis مملوءة بمـــواد الاحتراق من اليورانيوم المخصب وهذه الكرات كما ذكرنا مغلفة أو مبنية من مادة الكربون بسدة مسننة تغلق عن طريق البرم مثل البرغي.

وفي داخل كل كرة يوجد مواد الاحتراق U235 gr 1 تقريبًا مـــن اليورانيـــوم المخصب وكذلك من عنصر الـــ Thorium gr 5 .

خاصية ومميزات هذه المفاعلات أن كرات مواد الاحتراق هذه تتحرك وتعمـــل عملية دوران دائم كعملية دوران الدم في قلب وجسم الإنسان، وتخرج من داخـــل القلب أي الCore وتسقط عن طريق قسطل أو أنبوب إلى أسفل المفاعـــل وهنـــا

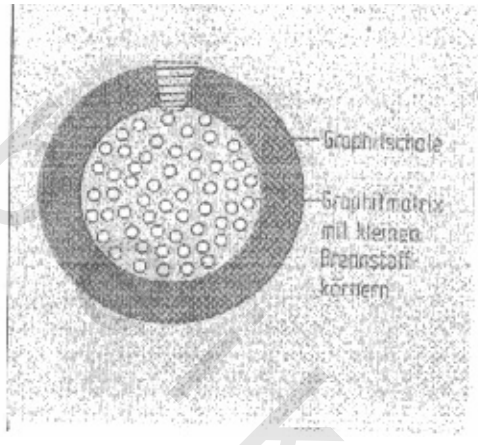
يوجد أجهزة وبمرورها تقاس قدرتها النووية وميزاتها الفيزيائية؛ مـثلاً إذا كانـت مواد الاحتراق الموجودة فيها غير صالحة كمادة احتراق أو موجود بها غيرها من الأغلاط تحول هذه وتسحب من دائرة التشغيل وتبدل بكرة صالحة جديدة غيرهـا. وهذه الدورة أي دورة كرات التشغيل يلزمها وقت طويل محـدد لكـسب ولإنتـاج الطاقة.

ومن منافع وحسنات هذا النوع من مفاعلات الكرات بالنسبة إلى غيرهـا مـن المفاعلات بيئيًّا وتكنولوجيًّا واقتصاديًّا: هنا في هذا المفاعل تغيير وتجديـد مـواد الاحتراق بدون إيقاف المفاعل، وكذلك فحص وقياس كل كرة بحد ذاتها في وقـت سير إنتاج الطاقة.

طريقة تبريد هذا المفاعل النووي ذي الطاقة الحرارية المرتفعة كما ذكرنا قـبلاً عن طريق وجود المادة المبردة الأفضل، يؤخذ هنا غاز الهليوم Helium. هنا غاز الهليوم موجود في الوعاء الأسطواني في القلب الـ Core، تحركه مراوح ليـسير في دائرة لتبريد حرارة تفاعل الانشطار، وكذلك لنقل حرارة غاز الهليوم المساوية تقريبًا 850 ºC إلى التبادل الحراري وهذه الحرارة تنقل إلى الخارج وتستعمل لبرم تربين Turbine يشغل مولد إنتاج الطاقة الكهربائية، ويعود هذا الغاز المـستعمل المبرد عن طريق التبادل الحراري عن طريق المراوح إلى الـ Core بحـرارة تساوي تقريبًا 175 ºC وهذا المفاعل مغلف بطبقتين من مادة الفولاذ موجود بينهما غاز عازل، وكما نرى بصورة النموذج هذا المفاعل مؤلف من ال Core ودائـرة تشغيل الكرات وكذلك المبادل الحراري، وإذا حدث عطل أو حادث فـي غـلاف الفولاذ الداخلي يدخل الغاز العازل إلى داخل المفاعل وليس إلى الخارج.

وطرق التحكم في هذا المفاعل طبيعية وسهلة جدًّا تعود إلى ارتفـاع الحـرارة والتقاط النيوترونات كما ذكرنا في قسم التحكم الطبيعي فـي المفـاعلات، أي أن المفاعل عنده معامل حراريـة سـلبية Negative Temperature Coefficient والمقصود في حالة ارتفاع إنتاج النيوترونات وكذلك ارتفاع طاقة المفاعل ولتخفيف وتنزيل هذه الطاقة تخفف سرعة سيلان غاز التبريد عن طريق برم المراوح، ولهذا

ترتفع الحرارة في المفاعل، ولهذا السبب تضعف الطاقة ويساعد بعملية التحكم بعض قضبان التحكم لا نراها في النموذج.



وهذا النوع من المفاعلات النووية الحرارية المرتفعة سيكون مفاعلات المستقبل حسب الدراسات والتطورات. وهنا نستطيع أن نقول بأنه في المستقبل سوف نستغني عن التبادل الحراري لتشغيل تربين لإنتاج الطاقة ولكن ممكن رأسًا عن طريق غاز الهليوم المستعمل لعملية التبريد.

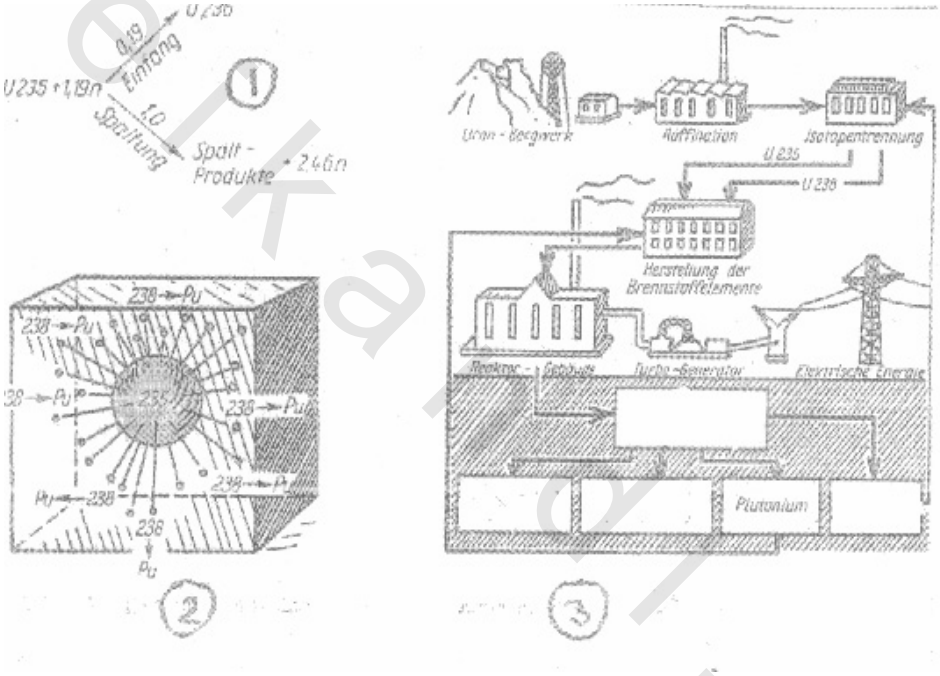
17. 5.3 المفاعلات التناسلية المنتجة (أي المفاعلات المولدة)

حسب ما وجدناه في دراسة عمليات المفاعلات النووية القديمة والحديثة التي سبق وشرحت لتوليد الطاقة وكذلك المفاعلات النووية المنتجة سيل النيوترونات للأبحاث العلمية، ولكن المفاعلات النووية التناسلية المولدة تنتج كذلك الطاقة وخاصة النيوترونات السريعة لعمليات التناسل وتولد منها عناصر انشطار جديدة.

هنا في هذه المفاعلات عملية التناسل ليست إلا عملية إنتاج وتوليد من المواد الطبيعية غير القابلة للانشطار عناصر انشطار حساسة جديدة غير موجودة، وهذه العملية نسميها عملية الـ Conversion. ومن المطلوب والمقصود من عمليات هذه المفاعلات التناسلية خاصة وعامة بأن كمية هذه المواد المولودة المنتجة تكون صالحة للانشطار، وهذا عن طريق عمليات التناسل يجب بأن تكون كمية المواد المنتجة أكبر من كمية المواد المستعملة لعمليات إنتاج النيوترونات مثل الـ U^{235}, Pu^{239} هنا نأخذ مثلاً بسيطًا لتفهم هذه العمليات فنقول: من المعروف أنه لانشطار نواة واحدة من عنصر اليورانيوم U^{235} يلزمنا ويكفي نيوترون واحد لا غير لعملية

انشطار هذه النواة التي تعطي بعملية انشطار هذه النواة تقريبًا ما يساوي 2,46 نيوترون جديد حر.

ولكن هذه النيوترونات الحرة تفقد 0,19 نيوترون ضيعت بدون عملية انشطار عن طريق عملية الالتقاط، ولكن من هذه النيوترونات الباقية استعمل 1,19 لعملية الانشطار التابع، فهنا ربحنا الفرق بالنيوترونات المساوي 127 = 1,19 - 246.



المنتجة والمولدة مواد جديدة من عمليات التفاعل مع المواد الطبيعية U^{238}, Th^{232}.

ولكن لكسب عمليات تفاعل أكبر من المواد الطبيعية المذكورة أعلاه، فإنه وجد أنه من الأفضل استعمال النيوترونات السريعة لأنه هنا عملية إضاعة النيوترونات بعمليات الالتقاط تقل، ولهذا يكبر فرق حصيلة النيوترونات المنبثقة من انشطار النواة والذي يساوي:

نيوترون 2,46 - 1,07 = 1,39

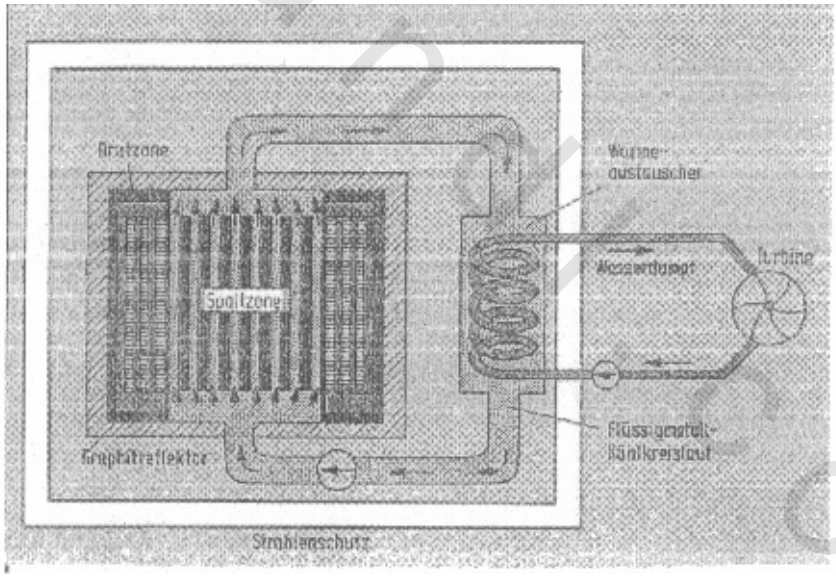
هنا نقول إذا كل نيوترون من الـ 1,39 نيوترون المنبتة اصطدم بنوى اليورانيوم الطبيعي أي الـ U^{238} تنتج وتولد نواة من عنصر الـ Plutonium Pu^{239} ولهذا نعطي صورة نموذجية لعمليات إنتاج وتوليد الـ Pu^{239} .

وهذا ما يدل على ربح أو كسب مواد انشطار أكثر مما استعمل من مواد لانشطار نوى المواد الطبيعية.

ولهذا نقول بأن الحصيلة التناسلية تساوي أو ليست إلا نسبية النوى الحاصلة المولودة مقسومة على النوى المستعملة 1 / 1,39.

وهنا في هذه المفاعلات التناسلية تحدث العمليات التناسلية المتفاعلة في مواد التناسل الطبيعية بالنيوترونات السريعة بدون مخففات أو كوابح، ولهذا السبب سميت هذه المفاعلات التناسلية السريعة المظهرة بالنموذج المبسط.

هنا في قلب هذا المفاعل أو في محيط أو منطقة الانشطار موجودة مواد



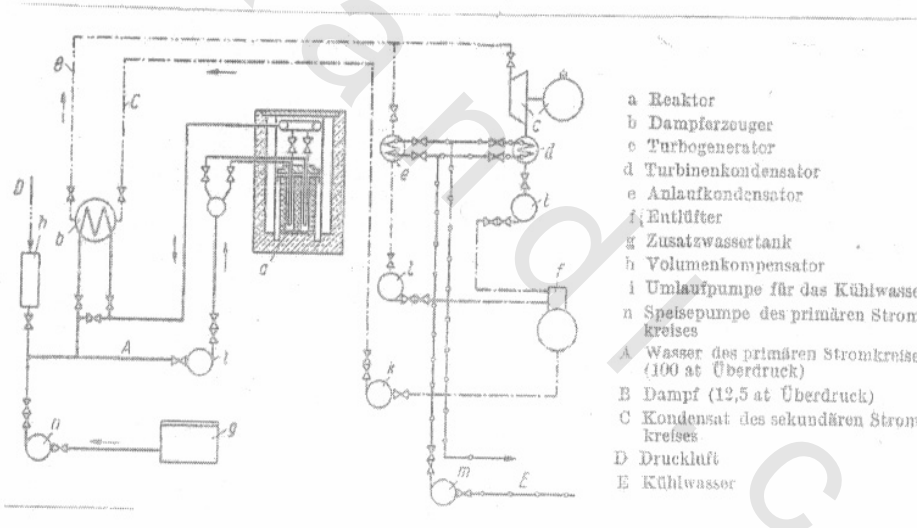
الانشطار التي تبعث النيوترونات السريعة للتفاعل مع المواد المحيطة بها غير القابلة للانشطار لتوليد مواد انشطار جديدة، ومواد الانشطار الناتجة للنيوترونات السريعة خاصة اليورانيوم المخصب الصافي U^{235}، أو العناصر المنتجة من

عمليات التناسل مثل الPu^{239} أو عنصر اليورانيوم U^{233}، والعنصر الـذي عنـده أفضل الصفات والمميزات والموافق لعملية الإنتاج الأكبر وكسب مواد الانـشطار الجديدة المتناسلة هو عنصر ال$_{94}Pu^{239}$ Plutonium .

وعمليات التفاعل مع المواد غير القابلة للانشطار تحدث في منطقـة أو محـيط الانشطار.

إن مواد الانشطار المؤلفة كما ذكرنا من عنصر U335 أو من مـواد عنـصر الانشطار الأجود ال Pu239 هذه مغلفة أو محاطة بالمواد التي نسميها مواد التناسل الطبيعية مثل اليورانيوم U238 أو المادة الطبيعية التالية الطوريـوم Thorium Th232.. وهذه العملية نظهرها بصورة نموذجية كما يلي:

هنا النيوترونات السريعة المنبعثة من U^{235} or Pu^{239} تدخل في غلاف المـواد



الطبيعية غير القابلة للانشطار، وهنا تحدث عمليـات التفاعـل للتناسـل حـسب المعادلات التالية:

$$_{92}U^{238}(n,\gamma)_{92}U^{239^*}\ (e^-)_{93}Np^{239^*}(e^-) + {}_{94}Pu^{239}$$
$$_{90}Th^{232}(n,\gamma)_{90}Th^{233^*}(e^-)_{91}Pa^{233^*}(e^-) + {}_{92}U^{233}$$

رمز النجمة يدل على أن المادة مشعة ..

وحسب هذه التفاعلات تنتج المواد المتناسلة المولودة الصالحة للانشطار من المواد الطبيعية، كما سبق وذكرنا عنها قبلاً في نفس القسم، غير القابلة للانشطار مثلاً اليورانيوم U^{238} ينتج عنصر الـPu^{239}..Plutonium، وكذلك من العنصر الطبيعي الـ Thorium عنصر اليورانيوم U^{233} ومحيط أو منطقة الانشطار وكذلك غلاف مواد التناسل محاطة من كل الجهات بمادة الGraphite الموجودة كعاكس للنيوترونات لتعود إلى داخل المواد الطبيعية لكسب وربح أكبر كمية من مواد الانشطار المتناسلة المولودة.

هنا كذلك في محيط منطقة الانشطار وحسب التفاعل تنتج حرارة مرتفعة، ولتبريد هذه الحرارة لا تستعمل المياه لأن المياه تكبح النيوترونات السريعة الواجبة واللازمة للإنتاج؛ ولهذا يجب أن تؤخذ مادة تبريد عندها جزئيات مرتفعة مثل مادة الهليوم Helium التي عندها العدد النظامي Z=23، والنيوترونات السريعة لما تصطدم بهذه المادة لا يضيع من طاقتها إلا القليل؛ ولهذا أخذ معدن الNatirum لتبريد المفاعلات النووية للتناسل كدائرة للتبريد عن طريق المعدن السائل لقد وجد حل علمي للصعوبات الناتجة لأنه من الصعب جدًّا التعامل مع المعدن السائل. وهذا المعدن السائل أخذ لكسب أو استغلال حرارته المرتفعة عن طريق التبادل الحراري بإنتاج البخار الذي يبرم التربين ليعمل المولد وينتج الطاقة الحرارية لتوليد الطاقة الكهربائية.

17. 4 طرق استغلال أو كسب الطاقة من المفاعلات النووية

وحسب تعمقنا في دراسة المفاعلات النووية أيًّا كان نوعها، وكذلك دراسة طرق عمليات الانشطار لربح أو كسب طاقة الانشطار للمصالح الأمنية والإنسانية والاقتصادية، تعرفنا بأنه في إحداث أي عملية انشطار تنتج طاقة حرارية مرتفعة جدًّا، قديمًا في أوائل بداية تشغيل المفاعلات النووية، مثلاً في إنكلترا في المفاعل النووي Harwell الذي بني وصمم خاصة حتى ينتج عنصر الـــ Plutonium ولكن هنا الحرارة المرتفعة الناتجة عن طرق تفاعل الانشطار استعمل منها 50% بالمائة لتدفئة الأبنية والمؤسسات، ولكن في الولايات الأمريكية المتحدة في ولاية

Idaho USA استعملت حرارة المفاعل النووي الحاصلة من عمليات التناسل المرتفعة لبرم تربين يشغل مولدًا يعطي طاقة كهربائية بقدرة مرتفعة تساوي 250 KWh ولكن في روسيا الشيوعية في بنائها أول مفاعل نووي روسي سنة 1954 أنتج طاقة كهربائية تساوي تقريبًا 500 KWh وإذا عدنا إلى المصلحة الأمنية والبيئية لإنتاج الطاقة نستطيع أن نقول بأن المفاعلات النووية ليست إلا إنشاءات لإنتاج البخار لتوليد الطاقة الكهربائية مع صعوبات وأخطار الإشعاعات النووية ولهذا نقابل ما ينتجه كلغم واحد من عنصر اليورانيوم 235 الصافي في المفاعلات النووية الذي يساوي تقريبًا طاقة حرارية تساوي 25.10^6 KWh المعادلة طاقة احتراق $2,5.10^6$ كلغم من الفحم الحجري (انظر الحل في قسم 16–5) ولقد سبق وذكرنا عن طريق إحصاء الطاقة وما يلزم للعالم من طاقة في السنوات الباقية حتى سنة 3007 .

17 . 1.4 المفاعلات النووية الروسية

بقصد المعرفة وتوسع الفكر في هذا المجال عن المفاعلات النووية الموجودة في العالم من الضروري أن نلقي نظرة قصيرة على بناء المفاعلات الروسية الأولى.

هذا التصميم لا يختلف كثيرًا عن المفاعلات العادية التي ذكرت وشرحت تكنولوجيًّا وعلميًّا، ومن أراد التعمق أكثر في مواضيع المفاعلات النووية الروسية وكذلك معرفة نقاط جودتها وضعفها؛ مثلاً سبب تخريب وكارثة (مفاعل تشرنوبيل) الإنسانية والبيئية يجب بأن يعود إلى المراجع الروسية التالية (Nikolajew, Blochinzew) إلخ..

17. 2.4 المفاعلات النووية الإنكليزية

مبدئيًا المفاعلات النووية في كل العالم لا تختلف عن بعضها في كل الأوقات لا تكنولوجيًّا ولا علميًّا وإنه من المعروف أن هذه التكنولوجيا قد انتقلت من بلد إلى أخرى، وطورت وحسنت من بعض البلدان مثل ألمانيا كما ذكر قبلاً وذلك حسب ما تتطلبه تكنولوجيا البلد التي تبنيها، ولا يزيد عليها إلا التحسين ولا يبقى منه إلا

المعروف أساسيًّا وبدائيًّا: القلب أي الـ Core الحاوي مواد الاحتراق مثل: U235, Pu239, U233, U238 et، ودائرة التبريد، وكذلك التبادل الحراري للطاقة والأهم من كل ذلك عمليات التحكم وحفظ الإشعاعات إلخ..

ولنتابع نذكر المفاعلات الإنكليزية لأن الإنكليز عندهم ميزاتهم التكنولوجية الخاصة في كل شيء، وخاصة في المفاعلات النووية مثل مفاعل Calder Hall هذا المفاعل يعطي طاقة تساوي 140 000K w موصولة ومعلقة على الشبكة الكهربائية العامة. وهذا المفاعل النووي موجود بشكل مفاعل مزدوج كل قسم منه يحوي كمواد احتراق Ton 120 من اليورانيوم الطبيعي مصنوعة بشكل قضبان مغلفة بقشرة من مادة خليط خاصة لهذا المفاعل من مادة ال Magnesium وكمخفف أخذ الـ Graphite، ولنقل الحرارة والتبريد أخذ واستعمل غاز الـ CO_2 تحت ضغط مرتفع يساوي تقريبًا 7 at ، وكذلك الحرارة المنتجة تفوق الـ 340 ºC .

هنا لا نريد أن ندخل في كل التفاصيل المعروفة عن المفاعلات الإنكليزية، وكما ذكرنا كل من أراد التعمق في علم المفاعلات يجب أن يعود إلى المراجع. والأهم من ذلك ما فكرت به للتوفير على الطالب الفيزيائي النووي وقت التفتيش في المراجع، وجدت مثلاً كحل علمي تكنولوجي كيف تحسب الطاقة الحرارية في المفاعل حسب سيل النيوترونات وتفاعل الانشطارات؛ أسميتها القدرة الحرارية في المفاعلات النووية.

17. 3.4 قدرة الطاقة الحرارية في المفاعلات النووية

(دراسة وحل خاص للكاتب والمؤلف لمعرفة كمية مواد الانشطار للمفاعلات والقنبلة الذرية).

هنا لا يطرق إلا خصائص عامة لمعرفة قيمة أو كمية مواد الاحتراق في المفاعلات النووية.

حتى نتفهم موضوع توليد الطاقة الحرارية في المفاعلات النووية بالحل العلمي فكرت في هذا الحل النافع للطلاب الفيزيائيين عامة، وخاصة منهم الذين يهمهم

الاختصاص ودراسة تفاعلات الانشطار في المفاعلات النووية بالمعادلات المبسطة المشروحة وكذلك حتى يتفهم مفهومها الإنسان العادي والمهندس والطبيب والعالم وغيرهم ولذا كتبت هذا الكتاب الدراسي بلغة السهل الممتنع.

إن إنتاج الطاقة الحرارية في المفاعلات النووية يعود أولاً إلى عدد الانشطارات X المتفاعلة في مادة الوقود U^{235}، وكذلك Φ ، أي تدفق أو سيلان النيوترونات من هذه العملية في السنتم مربع والثانية من عنصر اليورانيوم U235.

نعرف علميًّا أن تفاعل حجم $1cm^3$ مادة وقود مثلاً U^{235} يعطينا عددًا من النيوترونات يساوي n ، وهذه الجسيمات تتسارع بسرعة متوسطة تساوي V وبضرب السرعة المتوسطة بعدد النيوترونات تعطينا قيمة سيل أو تدفق النيوترونات في السنتم المربع والثانية حسب المعادلة التالية:

$$\Phi_n = n \cdot V \ [1/ cm^2 sec]$$

أما عدد الانشطارات X في السنتم مربع والثانية يعود إلى المعادلة المعروفة التالية:

$$X = \Phi_n . \sigma . N_A / A \ [1/cm^2 . sec]$$

والشرح العلمي لمعرفة هذه المعادلة لعدد الانشطارات X يجب معرفة أولاً كمية سيل جسيمات النيوترونات Φ، وكذلك عامل الانشطار النصفي σ ، وعدد الذرات في السنتم المربع من عنصر اليورانيوم U235.

وللتعمق بالحل البدائي الفيزيائي نقول إذا كانت مادة ما ضخامتها أو سمكها يساوي d .

قذفت بجسيمات قدرة تيارها يساوي ...i وهذه الجسيمات لما تدخل بعمق أو مسافة واحد سنتم في المادة تحدث تفاعلات امتصاص في المادة تساوي:

$$\Delta i = 1.\sigma \cdot N$$

وهنا نرى بأن القسم $\sigma . N_L$ من هذه المعادلة يساوي ثابتة الامتصاص المعروفة:

$$\mu = \sigma . N_L$$

وهذه الثابتة μ. = Absorption Coefficient بـدورها حـسب المعـادلات الفيزيائية تساوي العامل الميكروسكوبي للانشطار النصفي:

$$\Sigma = \sigma.N_L$$

أي أنه يساوي عامل الانشطار النصفي σ ضرب N_L عدد النوى الموجودة في حجم سنتم مكعب، وكذلك هذه الاصطلاحية N_L تساوي المعادلة التالية:

$$N_L = \rho .N_A/A$$

شرح الاصطلاحات التالية:

N_A = ثابتة أفوكدرو $N_A = 6{,}023.10^{23}$.

A = الكتلة الذرية لعنصر اليورانيوم $A = 235$.

ρ = كثافة اليورانيوم U^{235} تساوي: $\rho = 19{,}04\ gr/cm^3$.

σ = 590.10^{-24} عامل الانشطار النصفي لعنصر اليورانيوم U235.

λ = طول مسافة خرق الجسيمات في المادة غير معروف.

N_L = عدد النوى أو ذرات المادة في السنتم المكعب غير معروف.

ولكن هنا الثوابت غير المعروفة من هذه الاصطلاحات هو طول مسافة خـرق الجسيمات المحددة λ في المادة الذي يساوي المعادلة التالية:

$$\lambda = 1 / \eta = 1 / \sigma.N_L$$

فمن المعروف كذلك بانشطار غرام واحد موجود به N_A/A نواة يعطي طاقـة تساوي المعادلة التالية:

$$E_{1.gr} = \Phi_n.\sigma.N_A/A.1$$

وبانشطار كلغم من اليورانيوم U^{235} هنا خاصة في المفاعلات النووية يعطينـا طاقة متوسطة حسبت قبلاً تساوي تقريبًا في محيط 190MeV، حـسب المعادلـة التالية:

$$E_{1.kgr} = \Phi_n.\sigma.10^3.N_A/A \approx 190\ MeV$$

وبما أننا لا نعرف قيمة سيل أو تدفق النيوترونات Φ_n في المفاعلات النووية، أخذنا العدد التقريبي للطاقة المتوسطة 190MeV المساوي تقريبًا العدد المأخوذ من الحل السابق لانشطار وانفجار كلغم واحد من عنصر اليورانيوم الصافي الذي يعطي طاقة بوحدة MeV تساوي 200MeV حسب الحل قسم (16-5) التالي:

وعن طريق افتراق أو خلل الكتل بعد الانشطار أو حسب طاقة التماسك أو الانشطار، فإن فرق الكتل أو كما يسمى خلل الكتل Δm يعطي ويساوي وحدات الفرق الناتجة حسب المعادلة التالية:

$$\Delta m = 236 - 235,8271 = 0,2233.Unit$$

فإذا كانت كل وحدة تساوي 931 MeV، فإن فرق اختلال الكتل 0,2233 يعطي تقريبًا الطاقة التالية:

$$0,2233 \cdot 931 \approx 200\ MeV$$

وهنا أردت أن أشرح مبسطًا كيف وجدت قيمة طاقة وحدة الكتلة المساوية 931 MeV ومن المعروف أن وحدة الكتلة البدائية تساوي المعادلة الفيزيائية التالية:

$$U_0 = 10^{-3}\ kgr\ mol^{-1}.1/N_A = 1,66055.10^{-27} kgr$$

هنا طاقة الوحدة المطلوبة تساوي الحلول التالية حسب معادلة أينشتين $E=m\ c^2$:

$$Eu_0 = 1,66055.10^{-27}.(2,9987.10^{+8})^2 = 14,924.10^{-11} Joule$$

$$1Joule = 1,6022.10^{-13}\ eV$$

$$Eu_0 = 14,924.10^{-11}J\ /\ 1,6022.10^{-13}J/MeV = 931,5\ MeV$$

فالطاقة التي وجدناها من احتراق كلغم واحد من عنصر اليورانيوم المساوية 190MeV يجب أن نحولها إلى وحدة الـ MWsec في الوقت الذي حسب لائحة الوحدات:

$$1eV = 4,45.10\text{-}26\ kWh$$

$$1eV = 4,45.10^{-26}.3600sec = 1,602.10^{-22}\ KW\ sec$$

$$1eV = 1,602.10^{-19} MW\ sec$$

ولتبسيط ومتابعة الحل لمعرفة قدرة الطاقة الحرارية المطلوبة.. نأخذ الطاقة المتوسطة المساوية190MeV بسب الضياع الناتج من عملية احتراق أو انشطار كلغم واحد من عنصر اليورانيوم U^{235} في المفاعل النووي، وليس الطاقة 200 MeV الناتجة من انشطار القنبلة الذرية، وهذه تساوي الطاقة بوحدة MWs المعادلة التالية:

$$190MeV.1,602.10^{-19}Mwsec = 304.10^{-19}Mwsec$$

وبعد هذه الحلول نقدر أن نقول بأن قدرة الطاقة الحرارية الناتجة من انشطار كلغم واحد في المفاعل النووي تساوي عامة قدرة الطاقة الحرارية حسب المعادلة التالية:

$$N = \Phi_n.6.10^3 gr N_A/A.304.10^{-19}$$
$$\sigma = 590.10^{-24} \quad .. \quad N_A = 6,023.10^{23}$$

$$N = \Phi_n .590.10^{-24}.10^3.6,023.10^{23}.304.10^{-19}/235$$
$$E = \Phi_n 4,596.10^{-14}\ Mwsec$$

عامة حسب تكنولوجيا بناء المفاعلات النووية، لمعرفة قدرة الطاقة الحرارية في المفاعل، وكذلك لمعرفة كمية الوقودM المستعملة في المفاعل تؤخذ المعادلة التقريبية التالية:

$$N = M.\Phi_n / 2,2.10^{13}\ [Mw]$$

ولنأخذ مثلاً على ذلك إذا كان التدفق أو السيل المتوسط للنيوترونات في أحد المفاعلات النووية يساوي [$\Phi = 5.10^{13}$ [$1/cm^2.sec$، وكذلك يوجد في هذا المفاعل كمية مواد احتراق من اليورانيوم الطبيعي تساوي 264 كلغم، وفي هذه الكمية يوجد 5% من مادة اليورانيوم U^{235} المخصب الصافي فإن كمية اليورانيوم الصافي الصالحة للانشطار حتى تنتج قدرة الطاقة الحرارية تساوي المعادلة التالية

$$246 . 5 / 100 = 13,20\ [kgr]$$

وكمية قدرة طاقة الحرارة المنتجة من كمية الوقود هذه تساوي حسب المعادلة التقريبية المذكورة أعلاه :

$$N = M.\Phi / 2.2.10^{13} = 13,2kgr.5.10^{13} / 2,2.10^{13} = 30[Mw]$$

أما إذا أردنا معرفة مثلاً كمية سيل أو تدفق النيوترونات Φ في مفاعل نـــووي طاقته الحرارية تساوي M = 2Mw، وكميـــة مـــواد الاحتـــراق أو الانـــشطار: اليورانيوم الصافي الموجودة في هذا المفاعل تساوي: 3,5kgr ، فإن كمية ســـيلان النيوترونات المتدفقة تساوي الحل التالي:

$$\Phi = 2{,}2.10^{13}.2Mw / 3{,}5kgr = 1{,}3.10^{13}[1/cm^2sec]$$

ولمعرفة كذلك عدد الانشطارات في هذا المفاعل لهذه الحالة نأخذ المعادلة التالية :X

$$X = \Phi.\sigma.N_A/A =$$

$$X = 1{,}3.10^{13}.590.10^{-24}.6{,}023.10^{23}/235=1{,}96.10^{13}$$

$$X \approx 19{,}7.10^{+12}[1/sec]$$

وهذا ما يساوي تقريبًا 20.10^{12} انشطار في الثانية.

17. 4.4 المواد المستعملة في بناء المفاعلات النووية

إن المواد الواجبة لبناء المفاعلات النووية يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار وتدرس قبل البناء وهذه المواد يجب أن تنتخب خاصة من الوجهة التكنولوجية بل وكـــذلك من الوجهة البيئية، وكذلك يجب أن يكون عامل الانشطار النـــصفي لهـــذه المـــواد Cross Section صغيرًا جدًّا حتى يحفظ ضياع النيوترونات من الامتصاص أو الالتقاط والقسم المهم من هذا المفاعل دراسة وتصميم وحدات مواد الاحتراق، وهذه المواد عامة موجودة مغلفة بشكل قضبان أو صفائح أو أوعية أسطوانية الـــشكل أو غيرها ومواد الاحتراق هذه المأخوذة عامة من عنصر اليورانيوم صاحب الجـــسم المبلور Crystal وهذا عن طريق التفاعل ترتفع حرارته ويتغير شكله في أغلفتـــه وحتى لا تتمزق هذه الأغلفة وتسبب أضرارًا بضياع مواد الاحتـــراق هـــذه فـــي المفاعل زيد عليه في الأغلفة مادة الـــ Zircon كمسحوق للتماسك، ولكن بارتفـــاع الحرارة إلى C 500 يتغير شكل كرستال اليورانيوم، وتتضخم أو تتمدد الأوعيـــة ومن بعد الخبرة والتجارب وجد بأن تغليف عنصر اليورانيوم، أي المقصود مـــواد الاحتراق برقائق مادة الألمنيوم هو الحل الوحيد لهذه القـــضية الـــصعبة؛ وجـــود الأغلفة الموافقة من مادة الألمنيوم وكذلك إنزال الحرارة، والسبب يعـــود إلـــى أن

معدن الألمنيوم ينصهر عند حرارة تحت C 300 وبعملية انصهار معدن الألمنيوم يتسرب هذا المعدن إلى ما بين حبوب بلور Crystal عنصر اليورانيوم ويعمل على تماسكه ويخفف الحرارة المرتفعة إلى تقريبًا C 300، وكذلك بمساعدة مسحوق الـ Zircon تكاملت كذلك عملية الحفظ والتماسك من التآكل وغيره.

أما بما يختص بالمخففات من بعد دراسات واختبارات أخذت مادة الـ Graphite كمخفف. وهذه المادة أظهرت بأن عندها ميزة أنها لا تؤثر عليها النيوترونات وخاصة الحرارية منهم، ولا تمتص ولا تلتقط النيوترونات بل تعكسها، وكذلك من ميزات هذه المادة أنها تتحمل تغير الحرارة في المفاعل وهذه النقطة كذلك من أهم النقاط في المفاعلات النووية وهذه النقاط المذكورة من مميزات مادة الـ Graphite يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار في كل مواد بناء المفاعلات. وهذه المادة أظهرت كل المطلوب من ميزات ولكن وجد كذلك أيضًا المعادن التالية كمخففات للمفاعل ومنهم الـ Beryllium, Zircon, Aluminum, Magnesium.

	σ_a	σ_s		σ_a	σ_s	σ_f
Wasserstoff (H) ..	0,33	20···80	Eisen (Fe)	2,53	11,0	
Deuterium (D) ...	0,00046	15,3	Kadmium (Cd) ..	2550	6,5	
Beryllium (Be) ...	0,010	6,9	Gadolinium (Gd).	46000		
Bor (B)	755	3,8	Blei (Pb)	0,17	8,3	
Kohlenstoff (C)...	0,0033	4,8	Uran 235	108	8,2	590
Sauerstoff (O)	< 0,0002	4,2	Uran 238	2,8	8,2	0
Aluminium (Al) ..	0,23	1,35	Uran, natürlich .	3,5	8,2	3,92

والمعدن الأكثر تناسبًا هو معدن الـ Beryllium، ولكن هذا المعدن ثمين ولذلك أخذ معدن الـ Magnesium كمعدن مفضل صامد لتأثيرات النيوترونات خاصة الحرارية منها، وكذلك ضد التآكل والتمزق ويبقى قاسيًا في ارتفاع الحرارة وكذلك في حالة تمدده.

ولبناء المفاعلات يجب في كل الحالات التعمق بأبحاث مواد البناء الموافقة والصالحة وكل ما تتطلبه تكنولوجيا بناء المفاعلات النووية.

17. 5.4 المفاعلات النووية وما صمم للمستقبل

كل شيء يتعلق بالتكنولوجيا الجديدة ويصمم للمستقبل يجب ألا يكون معروفًا قديمًا أو كذلك حديثًا، بل عنده ميزات القديم والحديث ويتماشى مع الوقت والحاجة والمفاعلات النووية الحاضرة سوف تصبح في خبر كان لما تتوصل التكنولوجيا الحديثة إلى حل موضوع مفاعلات الانصهار؛ وبما أنني شخصيًّا من مصممي أحد مفاعلات الانصهار للمستقبل أحببت أن أذكر تصميمي الخاص لمفاعلات الانصهار الذي يعمل على غير طريقة تجمد (البلازما) الـ Plasma المعروفة، والتي لم يتوصل العلماء إلى الآن لإعطاء نتيجة مقنعة أكثر من إيقافها لبضع ثوانٍ؛ بل وجدت طريقة أسهل وأبسط تعمل بدون توقف الـ Plasma، بل بتقطع الطاقة المنتجة متناوبة كالتيار المتناوب ولكن ليس بطريقة تقطع (البلازما) كما ذكرت مسبقًا كتقطع التيار المتناوب. وطريقتي تفترق عن طرق العلماء في الوقت الحاضر الذين لا زالوا في هذا الموضوع في البداية. وحسب تفكيري من الممكن وضعها واستعمالها مصغرًا كمحرك للسيارة، ومكبرًا للطاقة الكهربائية والباخرة والسيارة وحتى الطائرة والصاروخ وهذه الطرق في النهاية تعطي نفس النتيجة صورة ونص واضح عن تصميمي المسجل في مركز تسجيل الاختراعات في مونيخ ألمانيا الغربية:

Deutsches Patent und Markenamt Muenchen Germany

شهادة (البراءة) الألمانية معطاة تحت رقم التسجيل التالي:

DE 199 29 683 A1

تاريخ التسجيل 28. 06. 1999 (وضعت للتصرف بتاريخ 20. 01. 2002).

وكثير من الاكتشافات في موضوع الانصهار النووي توجد في لائحة اختراعاتي.