الفصل الثالث

1 ـ عملية استخلاص الوقود النووي من خاماته:

تبدأ عملية إنتاج اليورانيوم بالآتي:

أولاً ـ فرز اليورانيوم عن خاماته:

وتتكون هذه العملية من مرحلتين:

(أ) مرحلة تركيز واستخلاص اليورانيوم من خاماته عن طريق فصل الجزء الذي يحتوي على اليورانيوم من الصخور. إن خامات اليورانيوم التي يستخلص منها اليورانيوم تصل إلى المصانع على شكل صخور تحتوي، في أحسن الحالات على (1 ـ 3 %) من اليورانيوم. ولذا فإن استخلاص اليورانيوم من الخامات يعد مناسباً من الناحية الاقتصادية. وطبيعي أن تمر كل الخامات بعملية تركيز في مصانع خاصة، حيث يتم استبعاد وفصل أكبر كمية ممكنة من الشوائب والخامات الخالية من اليورانيوم عن تلك التي تحتوي عليه. فتصل نسبة اليورانيوم في هذا الخام المركز إلى بضعة أعشار في المئة.

(ب) مرحلة المعالجة الكيميائية:
وتتم على ثلاثة مراحل:

(ب ـ 1) المعالجة الحامضية:

يوضع الخام المركز عند وصوله إلى المصنع في خليط من حامض النيتريك (HNO_3) وحامض الكبريتيك (H_2SO_4) فيتحول اليورانيوم الموجود في الخام إلى محلول. أما المعادن الأخرى مثل الراديوم والرصاص والباريوم وغيرها، فتكون مركبات غير قابلة للذوبان ـ فتشكل أملاح الكبريتات وتترسب في القاع مع مواد أخرى الغير قابلة للذوبان. أما اليورانيوم فيشكل كبريتات اليورانيوم معقدة التركيب مثل.

$$\left[UO_2\,(SO_4)_2\right]^{2-}$$

ويتم تحويل اليورانيوم رباعي التكافؤ إلى سداسي التكافؤ عن طريق إضافة أكاسيد المنغنيز وكلورات الصوديوم.

(ب ـ 2) المعالجة القلوية:

بعد ذلك يدفع اليورانيوم الذائب إلى أجهزة أخرى حيث تضاف إلى المحلول كميات كبيرة من بيكربونات الصوديوم فتنفصل عن ذلك مجموعة أخرى من المعادن كالألمنيوم والحديد والزنك والكروم وغيرها وتترسب في القاع مكونة مركبات غير قابلة للذوبان. ويظل اليورانيوم ذائباً في المحلول على شكل كربونات اليورانيوم[45].

$$\left[UO_2\,(CO_3)_2\right]^{2-}$$

(ب ـ 3) المعالجة النهائية:

ينتقل بعد ذلك المحلول إلى مفاعل كيميائي آخر حيث يضاف إليه حامض النتريك. فيتحول مركب كربونات اليورانيوم إلى نترات اليورانيوم (Uranyl nitrate) وعندئذ تضاف للمحلول كمية كافية من الأثير الثنائي (الأثيل) الذي يستخلص كل نترات اليورانيوم من المحلول تاركاً المركبات

---

(45) تكنولوجيا الطاقة النووية ـ نبيل محمود عبد المنعم، ص 47.

D.K. Singhai، ص 189.

الأخرى كلها في المحلول الحامضي. وبما أن المحلول الحامضي يختلف عن المحلول الأثيري في الكثافة. لهذا يمكن فصله بسهولة بعد مرور مدة معينة. إذ يطفو المحلول الأثيري ـ وهو أخف ومعه اليورانيوم الذائب فيه إلى أعلى في حين يبقى المحلول الحامضي راسباً في القعر حيث يتم تصريفه من الوعاء خلال أنابيب خاصة إلى الخارج. ونتيجة لهذا تبقى نترات اليورانيوم النقية في الوعاء راسبة على شكل مادة صفراء ناصعة هي ثاني أورانيت النشادر (Ammonium diuranat) أو ما يسمى بالكعك الأصفر (Yellow Cake) والتي كانت تستعمل قبل اكتشاف الانشطار النووي لليورانيوم في طلاء الأوعية الخزفية.

صورة رقم (1)
مادة الكعك الأصفر

ثانياً ـ عملية تعدين اليورانيوم:

يتم معالجة ثاني أورانيت النشادر بالفلور، حيث تتحول إلى رابع فلورين اليورانيوم وهو مادة صلبة تسخن في بوتقة فولاذية مع رقائق الكالسيوم، فيتحول فلورين اليورانيوم نتيجة لتفاعل عاصف إلى يورانيوم معدني. وتصهر ألواح اليورانيوم الناتجة وتحضر على شكل أسطوانات وزن الواحدة منها 2,5 كلغ ثم تغلف كل أسطوانة بغلاف مصنوع من الألمنيوم أو من معدن آخر لحفظ اليورانيوم ومنعه من التأكسد.

وتختلف عملية إنتاج اليورانيوم عن عمليات التصنيع الكيميائية والتعدينة الأخرى، وذلك لأن الناتج الأولي يجب أن يكون على درجة كبيرة من النقاء، إذ تكفي أصغر كمية من الشوائب لإتلاف الوقود الذرّي الثمين. ومن أجل هذا يراعى تنقية اليورانيوم بعناية فائقة من الكادميوم (Cd) والبورون (B) والأنديوم (In) وكثير من العناصر الأخرى التي تمتص النيوترونات بشراهة. إذ يجب ألا تزيد نسبتها عن جرام واحد في الطن الواحد من اليورانيوم.

كما يمكن استخدام طريقة المذيبات العضوية للحصول على ثالث أكسيد اليورانيوم (UO_3).

وتتم هذه العملية من خلال تنقية ثاني أورانيت النشادر باستخدام المذيبات (solvent extraction) لذا تجفف مادة ثاني أورانيت النشادر في الهواء وتذاب في حمض النتريك، ويعتبر اليورانيوم الذائب في (HNO_3) الطبقة المائية (Aqueous phase) ويمكن استخدام طبقة عضوية هي عبارة عن ثلاثي بيوتيل فوسفات (T.B.P.) المذابة في الكروسين. والمعروف أن (T.B.P.) ذو تأثير كبير في انتقاء اليورانيوم واجتذابه إلى الطبقة العضوية[46].

---

(46) جلادكوف، ص 253 محمود عبد المنعم، ص 51.

ويتم رج الخليط بعض الوقت وتركه ليتكون سطح فاصل بين الطبقتين المائية والعضوية. فأثناء الرج يحدث تكسير متداخل لهذه الطبقات على شكل قطرات صغيرة وتستمر هذه العملية حتى الحصول على حالة اتزان

$$UO_{2\,(aq)}^{2+} + 2TBP(org) + 2NO_{3\,(aq)}^{-} <=> UO_2(NO_3)_2 + TBP_{2\,(org)}$$

وهكذا نحصل على نترات اليورانيل (Uranyl nitrate) والتي يتم حرقها (Ignition) للحصول على (U_3O_8) في حالة نقية وهي عبارة عن عجينة صفراء من اليورانيوم أكسيد.

$$UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O \longrightarrow U_3O_8$$

2 ـ عملية تخصيب اليورانيوم:

يتواجد النظير (يورانيوم ـ 235) بنسبة (0,7 %) في اليورانيوم وهي نسبة ضئيلة. أما النظير (يورانيوم ـ 238) فموجود بنسبة (99,3 %). ولا توجد في الطبيعة مادة يمكن أن يذوب فيها إحدى هذه النظائر. مع بقاء النظير الآخر دون تغيير. كما لا يعرف تفاعل كيميائي يتم أثناءه استخلاص نظير ما من دون التأثير على الآخر. حيث تختلف النظائر عن بعضها بكتلة ثلاثة نيوترونات أي أكثر من (1 %) من مجموع الكتلة الكلية. ويمكن فصل هذه النظائر المتشابهة فقط باستغلال هذا الفرق.

يتم تحويل العجينة الصفراء (U_3O_8) النقية سابقة الذكر إلى سادس فلوريد اليورانيوم (UF_6) وهو عبارة عن مركب من اليورانيوم في حالة صلبة عند درجة حرارة منخفضة نسبياً ولكن عند درجة حرارة حوالي (64,5) درجة مئوية[47] تتحول هذه المادة إلى الحالة الغازية تحت ضغط ما يقارب

---

(47) الطاقة النووية والمفاعلات النووية لتوليد الطاقة، دكتور كمال عفت ـ معهد الإنماء العربي ـ طرابلس 1980، ص 108.

(1100) ملم زئبق كما أن هذه المادة سامة جداً، وهذا الغاز يعتبر من أنشط الغازات المعروفة، فهو يتفاعل مع كل الفلزات واللافلزات والمواد العضوية فيسبب تآكلها، فلذلك يتم صناعة الأجزاء التي يمر بها من مواد خاصة.

وتمثل هذه العملية خطوة رئيسية لعملية تخصيب اليورانيوم عن طريق تحويل العجينة الصفراء إلى مادة غازية. وتعتبر التكنولوجيا المستخدمة في عمليات تخصيب اليورانيوم بالنظير (يورانيوم ـ 235) من الأسرار البالغة الخطر نظراً لعلاقة هذه العملية بصناعة القنبلة النووية.

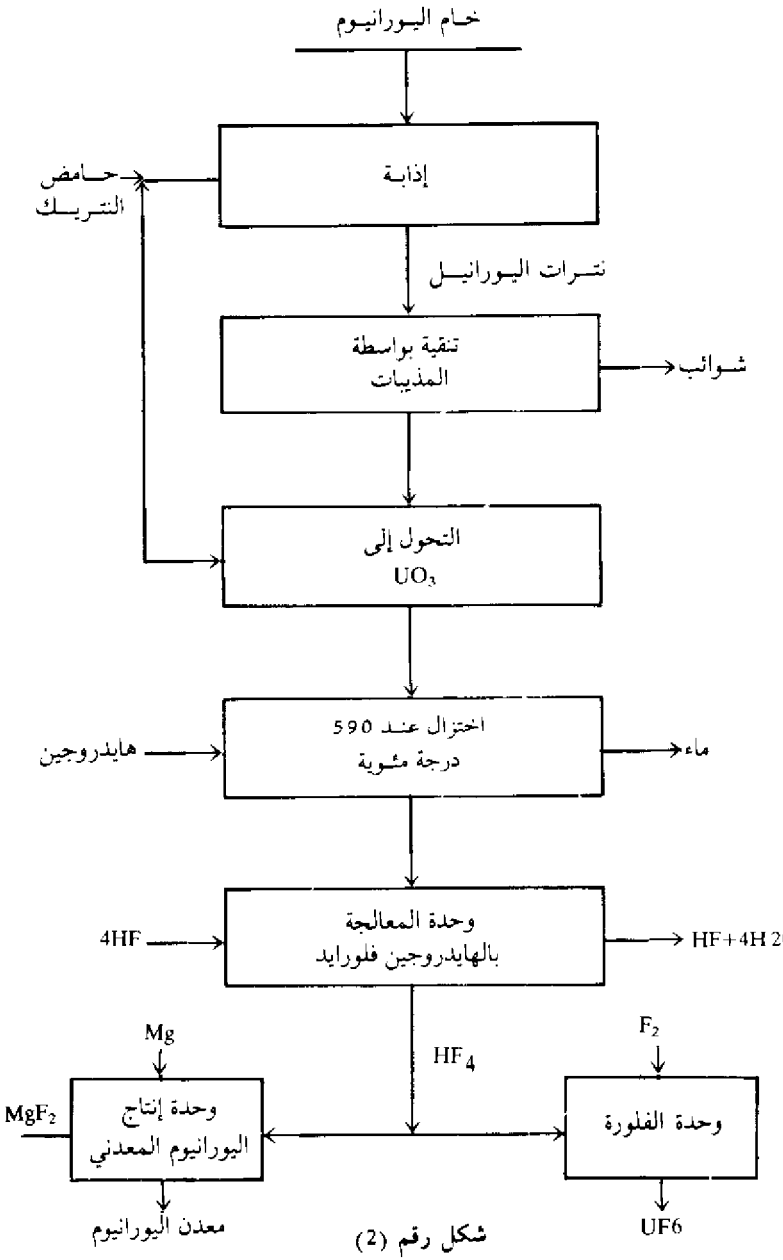
وفيما يلي الخطوات اللازمة للحصول على اليورانيوم في صورته الغازية. انظر شكل رقم (2).

هذا ويوجد عدة طرق لتخصيب اليورانيوم أهمها:

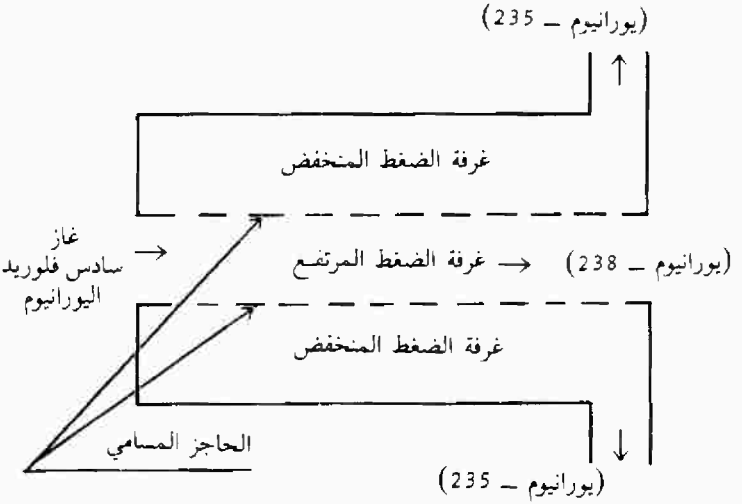
(أ) طريقة الانتشار الغازي (Gas Diffusion Method):

هي طريقة اقتصادية اكتشفت في الولايات المتحدة الأمريكية سنة 1932، وتتم عملية التخصيب بهذه الطريقة عن طريق إمرار غاز سادس فلوريد اليورانيوم خلال حاجز مسامي من (Sintered nickel powder) حيث يكون أقطارها تقريباً (10^{-3}) ملم، ويتم إمرار الغاز بشكل مضغوط من خلال مضخات (Axial Compressors)، والحاجز المسامي موجود في وحدة متكونة من غرفتين واحدة ذات ضغط عالي وأخرى ذات ضغط منخفض[48].

(48) Singhai، ص 191.


خام اليورانيوم
إذابة
حامض النتريك
نترات اليورانيل
تنقية بواسطة المذيبات
شوائب
التحول إلى UO_3
اختزال عند 590 درجة مئوية
هايدروجين
ماء
وحدة المعالجة بالهايدروجين فلورايد
4HF
$HF+4H_2O$
Mg
HF_4
F_2
MgF_2
وحدة إنتاج اليورانيوم المعدني
وحدة الفلورة
معدن اليورانيوم
UF6

شكل رقم (2)



شكل رقم (3)

وتسمى عملية المرور الاختياري لجزيئات الغاز الخفيفة خلال الحاجز المسامي، بالانتشار الغازي فتمر جزيئات الغاز الخفيفة نسبياً وهي (اليورانيوم ـ 235) بمعدل أسرع من الجزيئات الثقيلة نسبياً وهي (اليورانيوم ـ 238) وتحت تأثير اختلاف الضغط يتم فصل هذه النظائر فيتجمع (اليورانيوم ـ 235) في غرفة ذات الضغط المنخفض، ويتجمع (يورانيوم ـ 238) في غرفة ذات الضغط المرتفع. ونظراً لأن كمية الفصل الناتجة باستعمال حاجز واحد تكون قليلة نوعاً ما. فلذلك يلزم استخدام عدد كبير من الحواجز لإمكان الحصول على درجة تخصيب عالية. وللوصول إلى درجة تخصيب تصل إلى (3 %) من (اليورانيوم ـ 235) فإن عملية التخصيب بحاجة إلى حوالي (4000) وحدة من هذا النظام مرتبطة مع بعضها البعض بشكل شلال متدرج (Cascade).

أما بالنسبة للتغذية فإن إنتاج كيلوجرام واحد من اليورانيوم المخصب إلى درجة (3 %)، يحتاج إلى تغذية تبلغ (5,5) كيلوغرام من اليورانيوم

الطبيعي. وتحتاج هذه العملية إلى كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية، والوقت فلذلك فإن الدول النووية الرئيسية هي وحدها التي تلجأ إلى التخصيب بهذه الطريقة حيث عملية التخصيب تجري على مدار شهور عدة في آلاف الوحدات من هذا النظام وهذا يعني أن عملية الفصل بين النظيرين تجري ببطء شديد، ويتطلب الأمر تدوير الغاز المحتوى على جزيئات النظيرين على تلك الوحدات قرابة خمسين مرة. وتتم خلال كل دورة متكاملة لذلك الغاز قرابة (4000) عملية منفصلة، مما يتطلب استخدام أنظمة التحكم عن بعد المعقدة لمعالجة تلك الغازات القاتلة[49].

وتتسم هذه العملية بكونها شديدة التعقيد وباهظة التكاليف وتتطلب الكثير من الوقت. ويعتقد (ك. جلادكوف) أن معدات مصنع واحد يقوم على أساس فكرة الانتشار الغازي لعظيمة العدد، فعلاوة على آلاف الوحدات المقسمة، وأجهزة التبريد والمضخات وغيرها من الأجهزة فإنه تلتف حولها أنابيب وأسلاك وكابلات يبلغ طولها مئات وآلاف الكيلومترات[50].

(ب) طريقة استخدام القوة الطاردة Centrifuge Method:

طوّرت هذه العملية في ألمانيا والولايات المتحدة الأمريكية أثناء الحرب العالمية الثانية في مختبرات هذه الدول.

وتعتمد هذه الطريقة على قوة الطرد المركزي لفصل جزيئات النظيرين الذين على شكل سادس فلوريد اليورانيوم بواسطة المجال الحركي المسيطر، ونتيجة لاختلاف الوزن الذرّي لكل منهما، فتتركز جزيئات (اليورانيوم ـ 235) الخفيفة على مقربة من المحور، بينما تتركز جزيئات (اليورانيوم ـ

(49) Israel and Nuclear Weapons Present Options and Future Strategies — Fuad Jabber — London: Chatto and Windus for the International Institute for strategic studies — 1971 — p. 72.

(50) جلادكوف، ص 256.

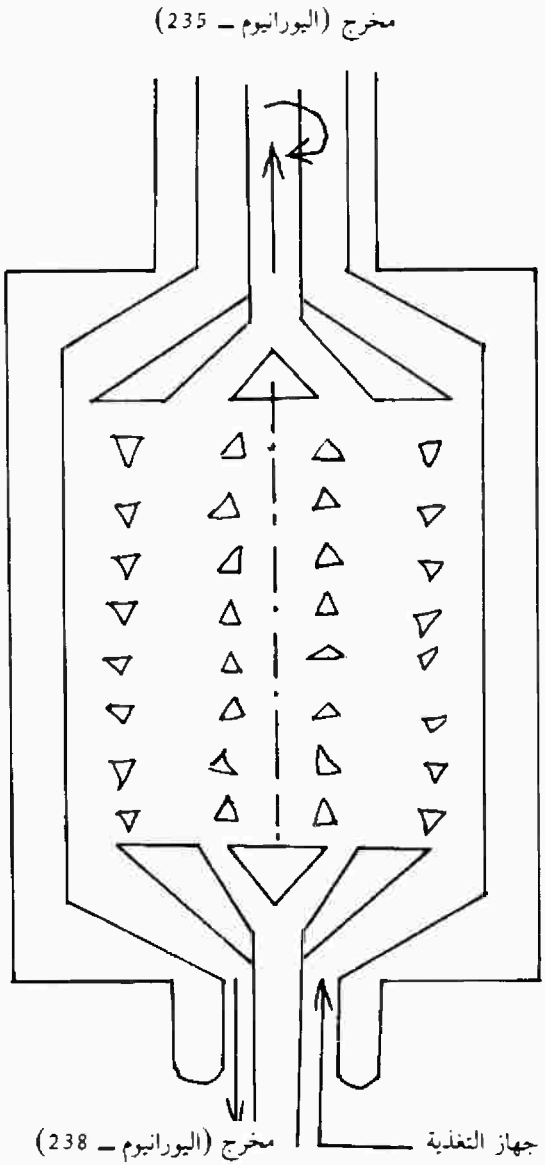
238) الثقيلة بعيداً عنه، وهكذا يتولد تيار مضاد بين نظيري اليورانيوم. وهذه الطريقة أفضل بكثير من طريقة الانتشار إذ يكفي (١/١٠) من الطاقة اللازمة في طريقة الانتشار لهذه الطريقة. فمثلاً إذا أردنا تركيز (اليورانيوم ـ 235) بنسبة (4 %) فإننا نحتاج إلى حوالي (1000) وحدة انتشار، بينما لا نحتاج للوصول إلى نفس النسبة من التركيز إلا إلى (100) وحدة طرد مركزي. إن كلفة عملية تخصيب اليورانيوم باستخدام قوة الطرد المركزي أقل كثيراً من كلفة تقنية الانتشار الغازي. ويقول (ج. بيكمان) تحت عنوان «نابذات الغازات باستخدام مبدأ القوة الطاردة المركزية كطريقة أرخص لفصل النظائر» إن هذه النابذات، إذا ما قورنت بوحدات الانتشار الغازي، يمكن لها أن تخفض كلفة عملية تخصيب اليورانيوم بدرجات كبيرة[51]. يجري الآن استخدام هذه النابذات بنجاح للأغراض غير العسكرية ـ وإذاً تستخدم هذه الطريقة في كل من هولندا والمملكة المتحدة وألمانيا الغربية، حيث تم تشكيل مجموعة من هذه الدول تعرف باسم «يورنكو URENCO)[52] حيث يتم تخصيب اليورانيوم إلى درجة تجعله صالحاً للاستخدام كوقود للمفاعلات النووية.

والجدير بالذكر أن المعلومات التكنولوجية عن هذه الطريقة محظورة، خلافاً لعملية الانتشار الغازي، لكن كما يعتقد (فؤاد جابر) في كتابه «إسرائيل والسلاح النووي»، إن هذه النابذات تدار بسرعة (50,000) إلى (100,000) دورة في الدقيقة فتندفع جزيئات (اليورانيوم ـ 235) الأخف وزناً نحو المحيط الخارجي للدوامة، في حين تبقى جزيئات (اليورانيوم ـ 238) الأثقل وزناً أقرب إلى المركز.

---

(51) Gas Centrifuges for cheaper Isotope separation in Preventing the Spread of Nuclear Weapons, ed. C.F. Barnaby — J. Beckman. London: Souvenir Press for Pugwash Movement — 1969. p. 97.

(52) الطاقة النووية ـ كمال عفت، ص 111.

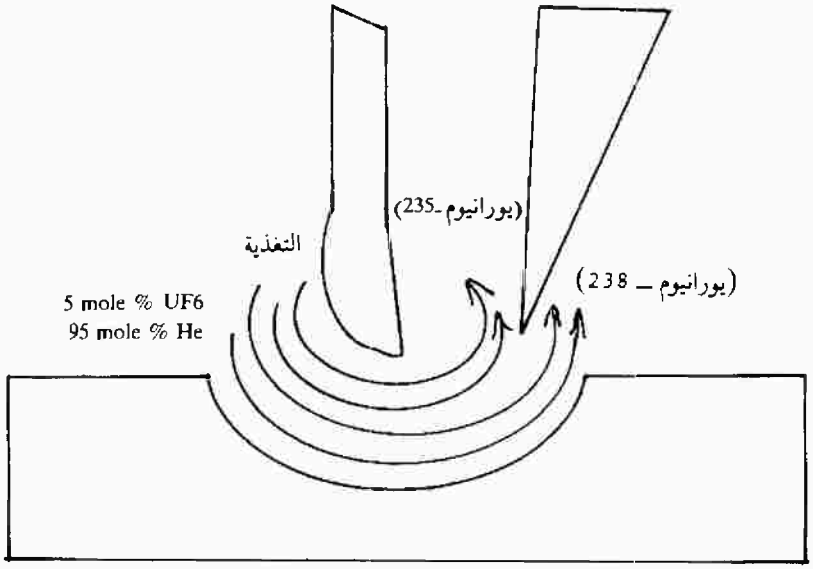


جهاز يعمل بالقوة الطاردة المركزية

شكل رقم (4)

(ج) طريقة استخدام الخرطوم النفاث (Jet Nozzle Method):

أو ما يسمى بعملية المنفذ النفاث لبيكر (Becker Jetnozzle Process) وفي هذه الطريقة يدخل خليط من سادس فلوريد اليورانيوم والهيليوم بشكل مزيج يحتوي على 95 % هيليوم و 5 % سداسي فلوريد اليورانيوم، ليمر هذا المزيج بسرعة عالية في مسار نصف دائري فينفصل (اليورانيوم ـ 238) الثقيل عن (اليورانيوم ـ 235) الخفيف نتيجة لقوة الطرد المركزي بعد أن يتمدد هذا المزيج على شكل خيوط أو أشعة غازية فيذهب (اليورانيوم ـ 235) إلى اليسار و (اليورانيوم ـ 238) إلى اليمين كالآتي[53]:



شكل رقم (5)

(53) D.K. Singhai، ص 193.

ويعتقد أن تكاليف تخصيب اليورانيوم بهذه الطريقة هي أقل من الطريقتين السابقتين. هذا ويعتقد الخبراء أنه يمكن إقامة مصنع صغير يعتمد على هذه التكنولوجيا في أي بلد نامي كما فعلت جنوب أفريقيا إذ استنبطت نموذجاً خاصاً من تقنية الخرطوم النفاث الألمانية الغربية وشيّدت مصنعاً صغيراً لهذا الغرض[54].

هذا ويعتقد أيضاً أن (الإسرائيليين) قد استفادوا من نفس التقنية نظراً للتعاون النووي بين بريتوريا و (إسرائيل).

(د) طريقة استخدام الليزر:

تعتمد هذه الطريقة على استخدام الليزر في الاستفادة من الفروق البسيطة في طاقات الإثارة لذرّات أو جزيئات (اليورانيوم ـ 235) و (اليورانيوم ـ 238)، وتعطي هذه الطريقة درجة عالية من الفصل في مرحلة واحدة، بينما يتم استهلاك كمية من الكهرباء أقل مما هو عليه بالعمليات السابقة. ومن مميزات هذه الطريقة أنه ممكن معالجة النفايات أو ما تبقى من (يورانيوم ـ 235) في اليورانيوم الخارج من عملية الانتشار الغازي، أو عملية الطرد المركزية والتي تصل نسبته إلى (2 %)[55].

ويعتقد روبرت برانجر (Robert Pranger) أن العلماء (الإسرائيليين) التابعين (لوزارة الدفاع الإسرائيلية) نجحوا في تطوير هذه التقنية المسماة فصل النظائر بالليزر (Laser Isotope Sep.) ومن الممكن بهذه الطريقة نظرياً نقل كل (اليورانيوم ـ 235) من اليورانيوم الطبيعي عن طريق تخصيب نظائر

---

(54) Barnaby, Frank; Gold blat, Jozef; Levinson, Macha the NPT: The Main political Barrier to Nuclear Weapon proliferation. London and New York. For stockholm International Peace Research Institute, 1980, p. 4.

(55) Nuclear Power and Reactor for power generation, by Kamal Effat — Arab Development Institute — TOM-6-1980 — p. 91.

اليورانيوم بالليزر[56] وتتيح هذه الطريقة إمكانية الاقتصاد في حجم وتكاليف التجهيزات اللازمة للتخصيب، ويمكن أن تجري هذه العملية في مبنى صغير الحجم وسهل إخفاءه.

وقد نشر العالمان الفيزيائيان أشعيا نيبنزاهل (Isaiah Nebenzahl) عالم الفيزياء لدى (وزارة الدفاع الإسرائيلية) ومناحيم ليڤين (Menahem Levin) من جامعة تل أبيب، نصاً يدعيان فيه أن التقنية التي يتبعانها لفصل (اليورانيوم ـ 235) بهذه التقنية قد أعطت ناتجاً يبلغ 7 غرامات من (اليورانيوم ـ 235) بدرجة نقاء 60 % في مدة 24 ساعة[57].

ويشك خبراء الأسلحة النووية في كون (إسرائيل) تمتلك قدرات لفصل اليورانيوم باستخدام تقنية فصل النظائر بالليزر. وهذا وكان قد أعلن روبرت جيليت (Robert Gillette) في مقاله تخصيب اليورانيوم إن ما يدعيه العالمان الصهيونيان عن التقدم الذي أحرزاه في مجال فصل اليورانيوم بتقنية الليزر هي مجرد إشاعات[58].

ويعتقد ماسون ويلرتش (Mason Willrich) وتيودور تايلور (Theodore Taylor) أن تقنية فصل النظائر بالليزر «سوف تبقى إلى السنوات القادمة باهظة التكاليف وشديدة التعقيد وبعيدة عن متناول أي من الدول باستثناء الدول العظمى.

ولكن من السابق لأوانه الآن التكهّن بمستقبل هذه الطريقة من طرق تخصيب اليورانيوم، وإمكانية استخدامها على نطاق تجاري واسع.

---

(56) Pranger, Robert J.; Tahtinen, Dale. R. Nuclear Threat in the Middle East Washington, D.C.: American Enterprise Institute for Public Policy Research — 1975 — p. 13-15.

(57) بيتر براي، ص 62.

(58) Robert Gillete, «Uranium Enrichment: Rumors of Israel Progress with Lasers, Science Vol. 183 (22 March, 1974), p. 1174.

كيفية إجراء عملية الفصل بالليزر:

كما سبق الحديث تتميز النظائر المختلفة بكتل مختلفة لـذا تكون المسافة بين مستويات الطاقة في ذرّاتها مختلفة. وتتطابق مستويات الطاقة هذه مـع مدارات الإلكترونات، وتميل عادة النوى الثقيلة لأن تبقى هذه المدارات قريبة منها. وعندما تنضم النظائر مـع عنصر آخر ليشكلان مركب كيميائي يكون لجزيئاته مستويات مختلفة للطاقة وذلك حسب نسبة النظير في كل جزيئة. ومن هنا يجب اختيار شعاع اللايزر ذو طول الموجة المناسب والمطابق تماماً لفروق مستويات الطاقة في الجزيئات الحاوية على نـظير وحيد. يقوم اللايزر فقط بإثارة هذه الجزيئات ومن ثم يتم تسخينها إلى درجة حرارة عالية. أما الجزيئات الباقية والحاوية على نظائر أخرى فتبقى بشكل غير مثار وغير مسخّن. تبقى المشكلة في فصل هذه الجزيئات الساخنة عن بعضها البعض. ولعل إحدى الطرق في تحقيق ذلك تكمن في جعل هذه الجزيئات تتفاعل مـع جزيئات مركب كيميائي مختلف[59]. وباختيار المركب المناسب، تتفاعل الجزيئات الساخنة معه لتعطي مركباً جديداً يحوي على النظير المطلوب، وهكذا يتم فصله بالطرق الكيميائية العادية. وهذه الطريقة نفسها تستخدم لفصل نظائر اليورانيوم ويستعمل في هذه الحالة لايزر ذو تردد عالي لإثارة ذرّات اليورانيوم وخلـع إلكترون منها بحيث تتحول الذرّات إلى شحنات موجبة تجمـع بواسطة حقل كهربائي. إلا أن استعمال لايزر واحد لا يَفِ بالغرض المطلوب لعدم توفر الطاقة الكـافية. وبضم الاستـطاعات المتولّدة من جهازين لايزر يعطيان أشعة فوق بنفسجية. يصبح من الممكن خلـع إلكترونات ذرات (اليورانيوم ــ 235) عن (اليورانيوم ــ 238) وتجمـع على صفيحة.

(59) استراتيجيا عدد 44 ــ أكتوبر 1985، ص 75. «اللايزر والاندماج النووي» ــ دكتور يعرب نبهان.

3 ـ تصنيع الوقود النووي:

تعتمد عملية تصنيع الوقود النووي على نوع المفاعل الذي ستستخدم فيه، فهي إما أن يتم فيها تحويل سادس فلوريد اليورانيوم المخصب (UF_6) إلى ثاني أكسيد اليورانيوم (UO_2) أو تحويل اليورانيوم الطبيعي (U_3O_8) إلى ثاني أكسيد اليورانيوم أو إلى معدن اليورانيوم. وسنذكر بعض من هذه العمليات:

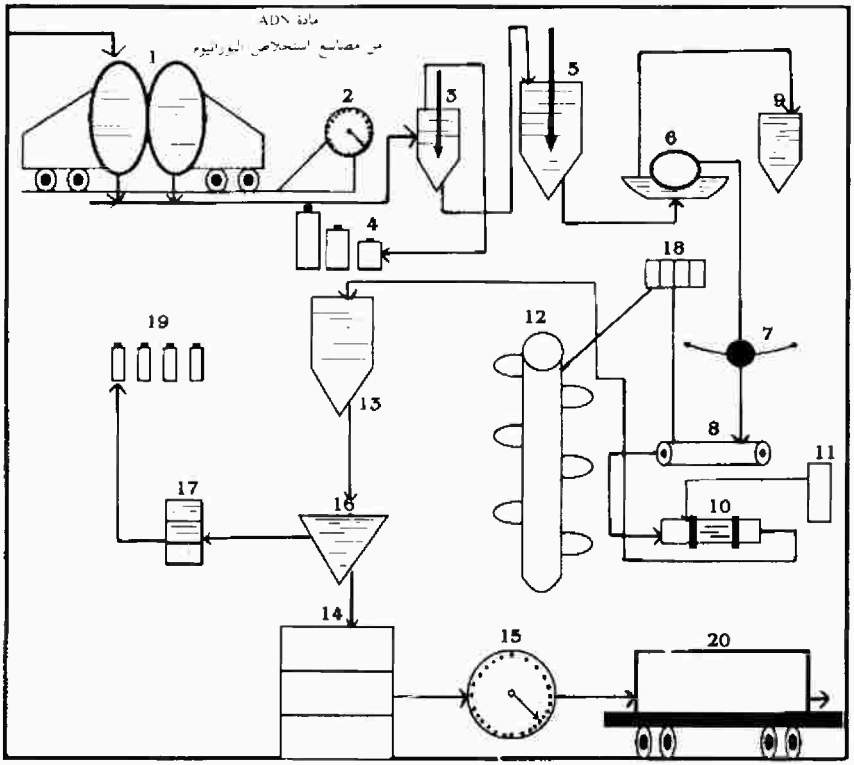
(أ) إنتاج ثاني أكسيد اليورانيوم:

تحدثنا سابقاً أننا نستخلص مادة ثاني يورانيت النشادر (ADN) من خامات اليورانيوم، تؤخذ هذه المادة وتجمع في خزانات مخروطية سعة كل منها حوالي (13) طن. يجري تقليب هذه المادة في هذه الخزانات لنحصل على (ADN) متجانس، ثم تضخ هذه المادة إلى خزانات مزوّدة بقلابات، وبعد ذلك تضخ هذه المادة إلى مرشحات لترشيحها وإزالة الماء الموجود فيها، ويتبع ذلك عملية سحب وتجفيف وكلسنة وتبلغ الطاقة الإنتاجية لهذه الوحدات حوالي (2000) طن من (U_3O_8) في السنة.

تجفف مادة ثاني يورانيت النشادر بواسطة تيار من الهواء الساخن درجة حرارته (130) درجة مئوية فيمر على العجينة الصفراء (Yellow Cake) طارداً الماء الموجود فيها. أما الكلسنة فتتم في ثلاث أفران مصنوعة بشكل أسطوانات أفقية من الصلب الذي لا يصدأ بقطر متر واحد وعلو ستة أمتار. وهي مثبتة على محور يدور بواسطة الكهرباء. تبلغ الحرارة الداخلية في الأفران (500) درجة مئوية، فتتحول رقائق ثاني يورانيت النشادر من اللون الأصفر إلى اللون البرتقالي (UO_3) ثم إلى اللون الأخضر الرمادي الذي هو عبارة عن (UO_2) و (UO_3).

يخزن المنتج في مخازن يبلغ سعتها ستون طن ريثما يتم تصنيفه وتعبئته النهائية في أوعية من الصلب سعتها (350) كلغ [60].

(60) محمود عبد المنعم، ص 63.



1 ـ حران محروط الشكل سعة 13 طن.
2 ـ ميزان لوزن مادة ADN
3 ـ خزان تقنيب للحصول على ADN متجانس
4 ـ حران تصفيف.
5 ـ حران
6 ـ مرشحات دوارة لإزالة الماء الموجود في ADN
7 ـ وحدة تشكيل حرام بن
8 ـ تجفيف بواسطة هواء ساخن
9 ـ حران ترسيب.
10 ـ ثلاث حرارات تستخدم كأفران كلسة حيث تبلغ الطاقة الإنتاجية لهذه الوحدة حوالي (2000) طن U.O في السنة

11 ـ وحدة غسيل
12 ـ مغرفة رافعة
13 ـ تحريض جاف سعة (6) طن.
14 ـ وعاء معلق من الصلب سعة (350) كلغ.
15 ـ ميزان
16 ـ مصفيات دوارة
17 ـ عبوات بلاستيكية
18 ـ مرشحات
19 ـ عبوات ثانوية
20 ـ عربات شحن (حاويات بعرض 6 متر)

شكل رقم (6)

المخطط التكنولوجي لإنتاج ثاني أكسيد اليورانيوم

(ب) تصنيع أعمدة الوقود النووي:

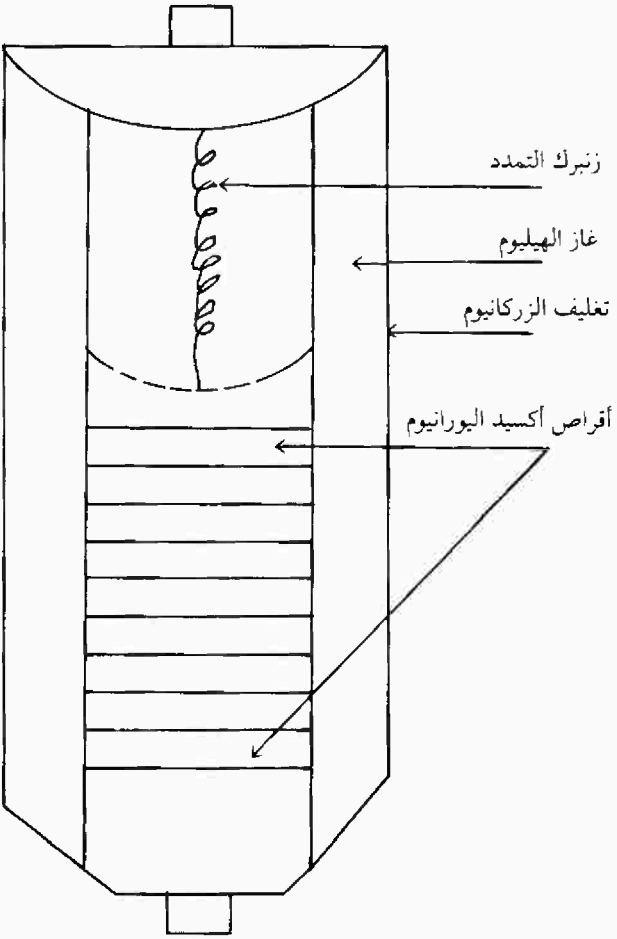
تخضع أعمدة الوقود النووي (Nuclear Fuel Rods) لمتطلبات هندسية وفيزيائية وكيميائية دقيقة عند تصنيعها. هذا وتختلف شكل أعمدة الوقود بحسب نوع المفاعل، إلا أن غالبيتها لها شكل أسطواني. فمثلاً يكون الوقود المستخدم في مفاعلات النيوترونات الحرارية هو ثاني أكسيد اليورانيوم، أما في مفاعلات النيوترونات المعجلة فإن الوقود المستخدم يكون خليطا من ثاني أكسيد اليورانيوم وثاني أكسيد البلوتونيوم. هذا ويكون ثاني أكسيد اليورانيوم في مفاعلات الماء على شكل أقراص سماكتها من (15) إلى (30) ملم. ونظراً لاستخدامات المفاعلات التي تستخدم هذه الأقراص بكثرة فمن الواجب معرفة كيفية صناعة هذه الأقراص. يراعى في البداية خلط مسحوق أكسيد اليورانيوم للحصول على مسحوق متجانس. وبعد ذلك يضغط هذا المسحوق على البارد في قوالب خاصة حيث يحول إلى أقراص تعرف بـ (Pellets) وبعد ذلك تجري للأقراص عملية تلبيد (Sintering) وذلك لتجنب أي عملية أكسدة لهذه الأقراص، في حرارة (1700) درجة مئوية. حيث يتم رفع الكثافة إلى (95 %) فتصبح الكثافة ما يقرب من (10,96) غرام/سم^3. وتؤثر عملية التلبيد على نوعية الوقود، حيث تختفي المسام الموجودة بها. وبعد ذلك تعبأ الأقراص في أنابيب من سبيكة الزركانيوم بعد أن يحمّى سطح هذه الأنابيب بطبقة من الأكسيد. وتعمل هذه الأنابيب دور تغليف للوقود النووي ويكون الغرض منها.

1 ــ منع أي تفاعل كيميائي بين الوقود النووي ومادة التبريد داخل المفاعل.

2 ــ منع المواد المنشطرة والتي هي على صورة غازية من التسرب خارج الوقود النووي وتلويث دورة التبريد.

ثم يوضع غاز الهيليوم في الفراغ بين الوقود ومادة التغليف (ويعمل

الهيليوم كمعامل اتصال حراري يساعد على نقل الحرارة من الوقود النووي إلى المبرد). وفي أعلى الأنبوبة يوضع نابض قابل للتمدد (Expansion Spring)، والفراغ الذي يلي هذا النابض يعبأ أيضاً بغاز الهيليوم، ثم تلحم الأنبوبة من أعلى فنحصل على الشكل التالي:



شكل رقم (7)
عمود الوقود النووي

وبعد ذلك يتم وضع أعمدة الوقود النووي (Nuclear fuel rods) في حزم على قواعد مجوّفة مصنوعة لتثبيت هذه الأعمدة والتي يبلغ عددها من (36) إلى (64) عموداً بطول (4,5) متر، حيث يدخل هذا الوقود إلى المفاعل بهذا الشكل.

كما أنه يمكن استخدام مادة كربيد اليورانيوم كوقود للمفاعلات النووية. وهي مادة سيراميكية تستخدم لمفاعلات الحرارة العالية (HTGR). وقد أثبتت التجارب أن التوصيل الحراري لكربيد اليورانيوم أفضل مما هو لثاني أكسيد اليورانيوم وتبلغ كثافة هذه المادة (13,6) غرام/سم^3 ويمكن إنتاج كربيد اليورانيوم عند تسخين مخلوط من ثاني أكسيد اليورانيوم مع الجرافيت عند درجة حرارة من (1600) إلى (1900) درجة مئوية في داخل جو مفرغ.

$$UO_2 + 3C \xrightarrow[\text{Vacuum}]{1600 - 1900^\circ C} UC + 2CO$$

كما أنه يمكن استخدام ما يعرف بالوقود المشتت. وهو نوع من الوقود السيراميكي النووي مثل (UO_2) أو (UC) ويحدث لجزيئات هذا الوقود تشتت (Dispersion) في محتوى كبير من معدن أو من مادة سيراميكية (Matrix) ذات خواص طبيعية مناسبة.

ويكون التشتت في معادن البربليوم والألمنيوم والزركانيوم والموليبدينيوم والحديد الذي لا يصدأ.

ويوجد نوع خاص من تشتت الوقود، هو عبارة عن جزيئات صغيرة جداً من ثاني أكسيد اليورانيوم على شكل كريات دقيقة يبلغ قطرها (0,3) ملم. ويمكن استخدام ثاني أكسيد الثوريوم (ThO_2). أو خليط من أكسيد اليورانيوم وأكسيد الثوريوم. أو كربيد اليورانيوم وكربيد الثوريوم[61].

(61) الطاقة النووية والمفاعلات النووية، دكتور كمال عفت، ص 123.

(ج) تغليف أعمدة الوقود النووي:

نتيجة لخصائص عنصر اليورانيوم الفيزيائية وتأثره بدرجات الحرارة المختلفة. تتم عملية تغليف هذه الأعمدة بمواد ذات خصائص تتناسب وعمل المفاعل النووي. وتتمتع مواد التغليف بالخصائص التالية:

1 ـ مقطع صغير لامتصاص النيوترونات بأسرها.

2 ـ متانة ميكانيكية، أوقدرة عالية على مقاومة التغير بالشكل الناتج عن تأثير الحرارة والإشعاع في المفاعل.

3 ـ موصلية حرارية عالية، وعدم ظهور إجهادات حرارية في مادة هذا العنصر.

4 ـ مقاومة عالية للصدأ والتآكل.

ومن المواد المستخدمة في تغليف أعمدة الوقود النووي هي الألمنيوم، والمنغنيز، والزركونيوم وسبائكه، والفولاذ، وسبائك القاناديوم[62].

مواد التغليف:

(أ) **الألمنيوم**: يمتاز بمقطع صغير لامتصاص النيوترونات، وله مرونة جيدة ومن مساوئه أن درجة انصهاره منخفضة (660) درجة مئوية. لذلك لا يستخدم الألمنيوم كمادة للتغليف إلا في مفاعلات خاصة تستخدم الماء مادة مبردة.

(ب) **المنغنيز**: يمتاز بأنه ممكن أن يكون له مقطع صغير لامتصاص النيوترونات، كما يمكن تشكيله بسهولة. لكن من مساوئه أن مقاومته منخفضة للصدأ، ودرجة انصهاره منخفضة. ويمكن تحضير سبائك المنغنيز

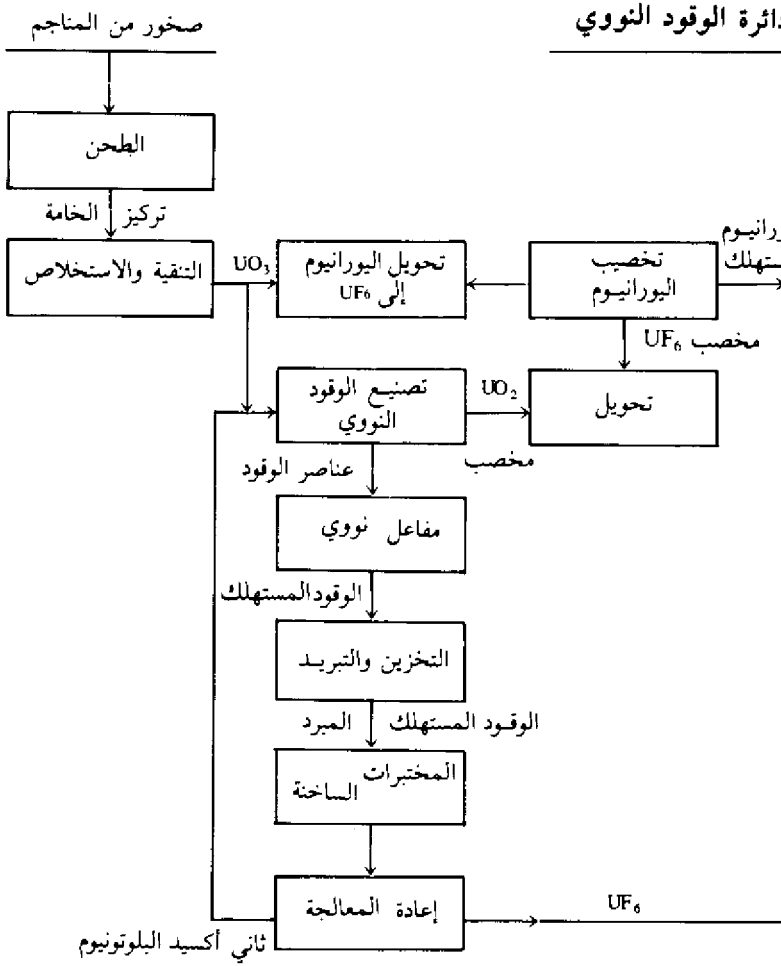
(62) دكتور إبراهيم بدران، ص 66.

بخلطها مع عناصر أخرى مثل الزركونيوم (Zr) والألمنيوم (Al) والثوريوم (Th).

(ج) **الزركونيوم**: يمتاز بأنه ممكن أن يكون له مقطع صغير لامتصاص النيوترونات ـ وله متانة ميكانيكية، وهو مقاوم للصدأ. أما من مساوئه أنه يتفاعل مع الماء. ومن المواد التي تستخدم في سبائك الزركونيوم النوبيديوم، والقصدير، والحديد، والكروم، والنيكل.

(د) **الفولاذ الأوستينيتي**: مقاوم للصدأ وهو يحتوي على الكروم والنيكل، وهو يمتاز بانخفاض سعره ويتحمل الدرجات الحرارية العالية. ومن مساوئه أن مقطعه عالي لامتصاص النيوترونات.

(هـ) **سبائك الفاناديوم (Vanadium Alloys)**: تمتاز هذه السبائك على الفولاذ الأوستينيتي بأن مقطع امتصاص النيوترونات لها صغير. كما أن خواصها الميكانيكية أفضل من خواص الفولاذ عند درجات الحرارة العالية.



شكل رقم (8)

دائرة الوقود النووي

المفاعلات النووية:

1 ـ الهدف من استخدامها:

تستخدم المفاعلات النووية لغرض إجراء البحوث أو توليد الطاقة الكهربائية أو لغرض إنتاج مواد منشطرة أو لتسيير وسائل النقل. ونستطيع بالتحديد وضع الإطارات العامة للاستفادة من المفاعلات النووية بالآتي:

1 ـ لإنتاج البخار.

2 ـ لإزالة الملوحة من مياه البحر والمستخدمة للري، أو بهدف استخدامها في المصانع، أو بهدف استخدامها للأمور المنزلية.

3 ـ إنتاج الحرارة اللازمة لتشغيل التوربينات وإنتاج الكهرباء.

4 ـ تشعيع المواد بالنيوترونات لتحسين خواصها الكيميائية.

5 ـ تشعيع المواد بالنيوترونات لتصنيع مواد جديدة مشعّة.

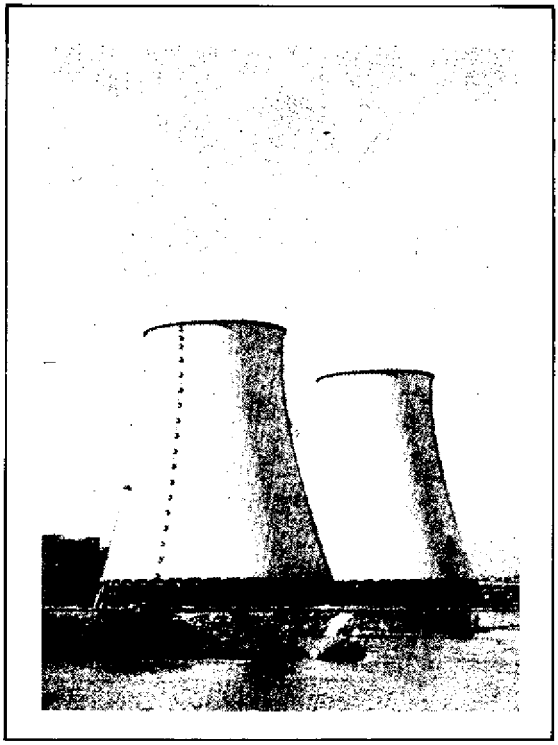
6 ـ المساعدة في الأبحاث الطبيعية النووية.

7 ـ فحص وتحليل المواد باستخدام الأشعة.

8 ـ إنتاج مادة البلوتونيوم الضرورية لاستخدامها كوقود في المفاعلات النووية، أو لصناعة القنبلة النووية[63].

---

(63) Atomic physics J.B. Rajam D.S.C.S. CHAND and CO (PVT) LTD RANAGAR, New Delhi — 1976 — p. 11.



صورة رقم (2)
صورة لمفاعل نووي