الفصل الرابع

القوى للجميع فى جميع الأوقات

يبدو أن اختراع الفرن الذرى فيه ضمان لحاجيات الإنسان للقوى . فبوساطته يمكننا حتى « حرق الصخور » ، فالجرانيت العادى يحتوى على نسبة بسيطة من اليورانيوم يمكن استخلاصها .

والقيود المفروضة على القوى تنحصر فى الوقود الذى يولدها . والسؤال هو : هل هناك وقود يكفى حاجة الإنسان المتزايدة من القوى ؟ . والجواب بالنفى قطعاً فيما يتعلق بالوقود غير الذرى . فإن موارد الزيوت فى العالم لا تكفى إلا لستين عاماً بمعدل الاستهلاك الحالى ، ولكن معدل الاستهلاك يتزايد باستمرار ، كما أننا نستهلك كميات ضخمة من الأخشاب . ثم إن قليلاً من مصادر القوى المائية ما زالت بدون استغلال . وكميات الفحم الموجودة لا بأس بها ، ولكن فى بعض المناطق وخاصة فى انجلترا أصبح الفحم غير متوفر فى المناجم ، وبذلك أصبحت عملية استخراجه غير اقتصادية .

والانقسام الذرى جعلنا نستعمل وقوداً آخر يمتاز بقوة تركيزه . ولكن كل المواد القابلة للانقسام يجب أن تصنع أو تستخرج من عنصرين ، هما اليورانيوم والثوريوم . وهناك موارد كثيرة فى العالم لهذين العنصرين ولكنها لن تدوم أبداً . والمرجح أنها تكفى لعدة قرون .

ولكن ماذا يحدث بعد أن تنفد هذه المواد القابلة للانقسام الذرى ؟

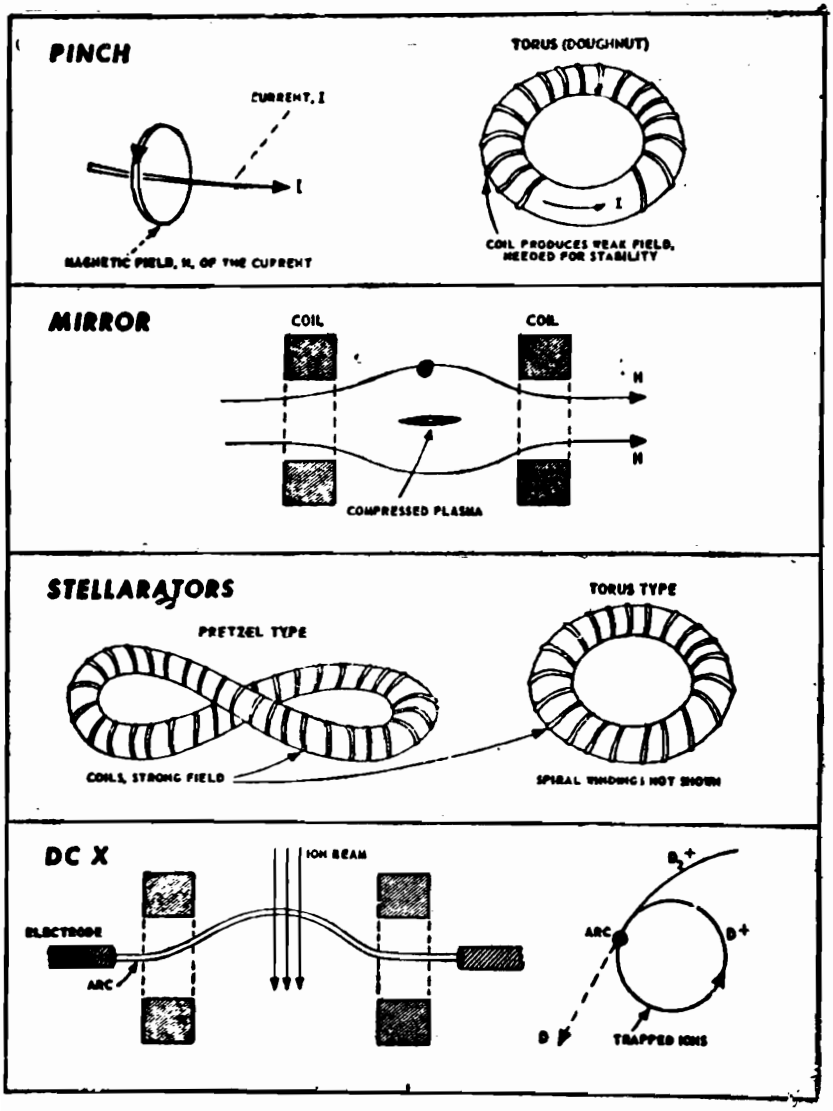
يجب أن نعود للشمس ؛ إذ يمكننا أن نركز الطاقة الشمسية التى تتدفق باستمرار على البسيطة ، كما يمكننا تقليد الطريقة التى بوساطتها تولد الشمس هذه الطاقة ، بل ونبنى نماذج صغيرة من تلك الشموس على أرضنا هذه .

وتنتج الشمس كباقى النجوم طاقة نتيجة للاندماج النووى الذى هو عكس الانقسام . فى الانقسام تنقسم الذرات الثقيلة إلى قسمين ، بينما نجد فى الاندماج أن الذرات الخفيفة تتحد بعضها ببعض ، ولكن النتيجة تكاد تكون متشابهة ؛ إذ تتكون ذرات متوسطة الحجم ، وينقص الوزن الكلى لكل هذه الذرات الجديدة عن وزن الذرات الكلى عند بدء الانقسام ويتحول ما فقد من وزن إلى طاقة هائلة .

وينتظر أن يكون الاندماج النووى أحسن الحلول لمشكلة القوى فى العالم ؛ إذ تفوق مزاياه أية مزايا لموارد الطاقة الأخرى كما هو مبين فيما يلى :

(١) يستخدم وقوداً متوفراً فى كل مكان وبكميات لا حصر لها . وهذا الوقود هو الديوتيريوم — نظير الأيدروجين الذى يحتوى على اثنين من الجسيمات فى كل نواة من نوى ذراته بدلاً من جسيم واحد . ويمتزج الديوتيريوم بالأيدروجين العادى ولذا يمكن استخراجه من أى مركب أيدروجين كالماء مثلاً (يد ا) . ونسبة الديوتيريوم فى الماء ضئيلة جداً ، ولكن كمية الماء فى العالم لا تنفد من المحيطات والأنهار والبحيرات وبالتالى فيمكنها أن تمدنا بكميات لا تنفد من الديوتيريوم . وهذه الكميات يمكنها من الوجهة النظرية أن تمدنا بالكهرباء اللازمة لقوى العالم أجمع لمدة ١٠ بلايين من السنين .

(٢) الديوتريوم هو وقود اقتصادى الاستعمال بطريقة مذهلة ؛ إذ أن كمية ضئيلة منه تكفى لمدة طويلة ، ولا تكلف عملية استخراج كل



(صورة رقم ١٠)

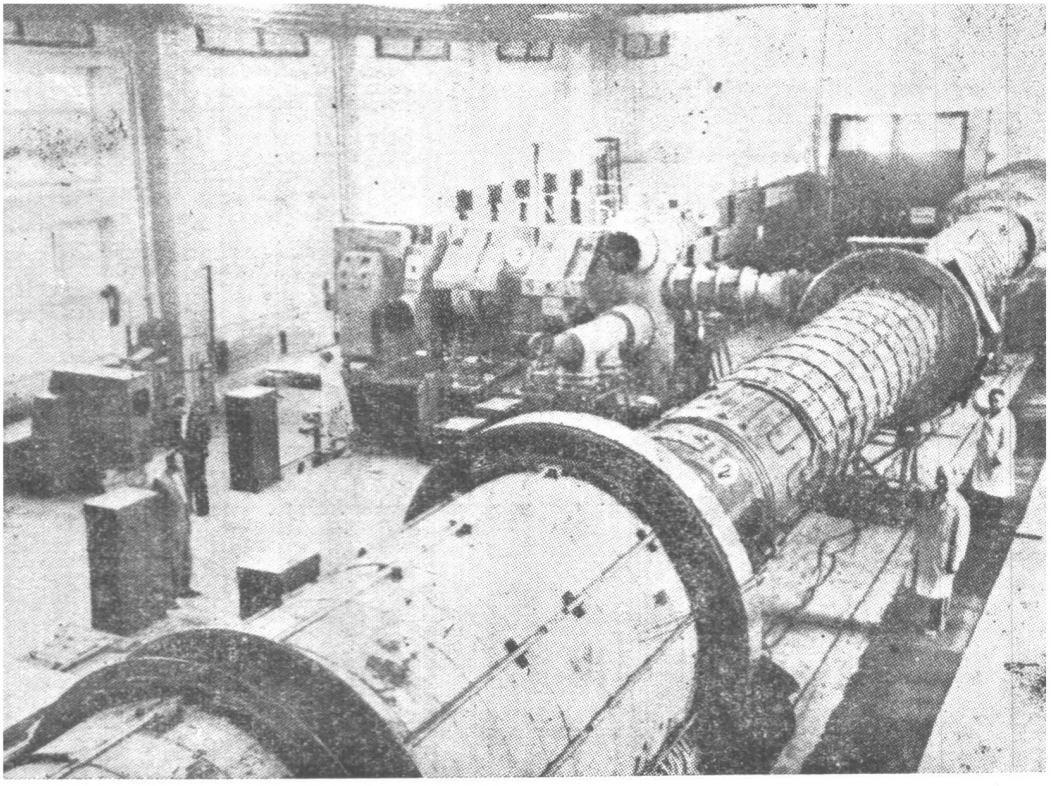
لا يمكن استخدام مادة صلبة لتحوى الغازات الشديدة الحرارة التى تلزم عملية الاندماج ، ولهذا لابد من استخدام الزجاجات المغناطيسية والنوع «القارص» يعتمد على أن الغاز الاندماجى الساخن يمكنه تمرير تيار كهربائى فيولد الغاز حول المغناطيسية وينكمش قطره حتى يصبح خيطاً رفيعاً بداخل الأنبوبة ـ أما فى الستليريتور Stellerator فيكون الغاز على شكل حلزونى (وذلك عن طريق الأنبوبة أو بوساطة ملفات إضافية) ـ وكلا من «المرآة» وDCX يستخدمان المغناطيسية المتولدة بالخارج للحد من حجم الغاز .

الديوتيريوم الموجود فى جالون من الماء سوى قرش واحد ، وهذه الكمية المستخرجة ضئيلة جداً تزن حوالى $\frac{1}{30}$ من الأوقية ، ورغم ذلك فإنها تنتج طاقة توزاى طاقة ٣٠٠ جالون من الجازولين . علماً بأن الديوتيريوم أرخص من الجازولين بمئات المرات .

(٣) إن وحدة قوى الاندماج النووى ذات كفاية عالية ، لرخص وقود الديوتيريوم من جهة ، ولأن وحدة الاندماج يمكنها أيضاً أن تصنع وقودها الخاص بهـا كما تصنع بعض وحدات الانقسام وقودها . ويحول التفاعل الليثيوم ، وهو معدن شائع ، إلى تريتيوم ، ثالث نظائر الأيدروجين الذى يندمج بسرعة مع الديوتيريوم . وعلاوة على ذلك فإن الاندماج يمكن تطبيقه بطرق حديثة فى توليد الكهرباء أحسن بكثير من المولدات الحالية ، التى تعمل بالبخار .

(٤) وطريقة الاندماج مأمونة جداً ، فالوحدة منها لا تنفجر كقنبلة ، ولا نفقد السيطرة عليها كما يحدث فى بعض مفاعلات الانقسام ، وذلك لأن عملية الاندماج النووى لا تحتاج إلى كمية محددة من الوقود لبدء عملية التفاعل ، ولهذا يمكننا مد الوقود بقدر ما يستهلك — وأهم من كل ذلك أن الرماد المتخلف من الاندماج غير مشع بعكس الرماد المتخلف من الانقسام . ومشكلة التخلص من تلك المخلفات ذات الإشعاع التى تتخلف من وحدات الانقسام ، وهى مشكلة معقـــدة ، غير موجودة مطلقاً فى وحدات الاندماج .

على أن الأمر لا يخلو من صعوبة ؛ إذ يجب أن يكون الوقود المستعمل فى الاندماج نموذجياً وهذا من الناحية الكيماوية صعب للغاية — كما ثبت أن بناء الفرن الذي يستخدم لحرق هذا الوقود سوف يصبح عسيراً جداً .



(صورة رقم ١١)

أوجرا Ogra ـ وهو جهاز روسى للقوى الاندماجية

١ — ملفات

٢ — غرفة التفاعل

٣ — جهاز الإدخال الأيونات

٤ — مصدر لإمداد القوى الكهربائية

ويمكنك تفسير ذلك إذا شاهدت ما يحدث أثناء عملية الاندماج ؛ إذ ينبغى أن تندمج نواتان لذرتين لتكوين نوع جديد من النوى — ولكن النوى الذرية عليها شحنة موجبة. والشحنات المتشابهة يطرد بعضها البعض، وتزيد قوة الطرد كلما تقاربت الشحنات من بعضها . فعند ما نحاول أن نقرب النوى الذرية من بعضها يمكننا أن نجعلها تندمج وعندئذ تصبح قوة الطرد هائلة . وهذا يعنى الحاجة إلى قوة دفع كبيرة للتغلب على قوى الطرد الكهربائية لعملية الاندماج .

والطريقة العملية الوحيدة لدفع النوى الذرية لدرجة كافية للاندماج هى عن طريق رفع حرارتها . وبذا تجعلها تتصادم بعضها ببعض فى حركة لا نظامية — وكلما ارتفعت درجة الحرارة زادت هذه الحركة الشعواء إلى أن تصل قوى التصادم حداً يمكن بعدها التغلب على قوة الطرد الكهربائية وإحداث الاندماج .

ودرجة الحرارة اللازمة للاندماج مذهلة ، فهى حوالى ١٠٠,٠٠٠,٠٠٠ درجة (وبالطبع لا يهم إذا كانت فهرنهيت أو مئوية) ، فأى مادة تصل سخونتها إلى هذه الدرجة تكون بطبيعة الحال فى حالة غازية . والواقع أن هذا النوع الخاص من الغازات يسمى بالبلازما . والذرات فى هذه الحالة تكون على حالة من النشاط بحيث تتحرك على أنفراد بعد أن تكون قد تخلصت من إلكتروناتها . والبلازما تحتوى على إلكترونات نشيطة جداً (مشحونة شحنة سالبة) ونوى ذرية (مشحونة شحنة موجبة) . وحيث أن الشحنات المتحركة تحدث تياراً كهربائياً فإن البلازما يمكنها حمل التيار الكهربائى — والبلازما هى التى تصنع الشمس والنجوم . والغازات المولدة للإنارة فى إشارات النيون واللمبات الفلورسنت هى أيضاً بلازما ، ولكنها ليست بدرجة سخونة أو نشاط بلازما الاندماج .

ولكن كيف يمكننا رفع درجة حرارة البلازما إلى ١٠٠,٠٠٠,٠٠٠ ؟

هناك طريقة تمرير تيار الكهرباء خلال البلازما ، فتحول مقاومة البلازما الكهرباء إلى حرارة تماماً كمقاومة أسلاك جهاز تسخين الخبز Toaster التى تحول الكهرباء إلى حرارة غير أن مقاومة البلازما ضعيفة فالمقاومة قد تساعد فى تسخين البلازما إلى درجة مليون تقريباً . وإذا ارتفعت درجة الحرارة عن ذلك فإن البلازما تنقل الكهرباء أكثر من النحاس بعشرين ضعفاً .

ومن الطرق الأخرى لتسخين البلازما ضغطها ، فهذا يرفع من حرارتها ، والمضخة المغناطيسية تقوم بذات العمل . والملفات تحرك البلازما فتنكمش وتتمدد ، وهكذا تحدث عملية الضغط مراراً وبسرعة — وهناك مشكلة أخرى بنفس الدرجة من الصعوبة كالوصول إلى درجة حرارة مائة مليون ، وهى مشكلة الوعاء الذى يحوى هذه البلازما فما هى مادة الوعاء التى تستطيع تحمل هذه الحرارة . . ؟ ففى درجة حرارة ١٠٠,٠٠٠,٠٠٠ تصير كل المواد فى حالة غازية ولا يمكن عمل وعاء من الغاز .

وعلى كل فالشمس متماسكة دون غلاف صلب يحويها لأن الجاذبية هى التى تقوم بالعمل . ولكن هذا لا يتأتى فى جهاز على سطح الأرض (فإذا حفظتها الجاذبية فى موضعها لا بد أن تكون البلازما فى حجم الشمس) . ولكن هناك قوة تعمل عمل الجاذبية ، ألا وهى المغناطيسية . ومن الممكن عمل مجال مغناطيسى بحيث يدفع البلازما الساخنة إلى وسط وعاء صلب بعيداً عن جدرانه فلا بد ألا تلمس البلازما جدران الوعاء ، وليس بسبب الخوف من إذابة الوعاء ، فقبل أن يحدث ذلك بوقت طويل فإن اتصال الجدران الصلبة بالبلازما الساخنة من شأنه تبريد البلازما إلى الدرجة التى توقف التفاعل .

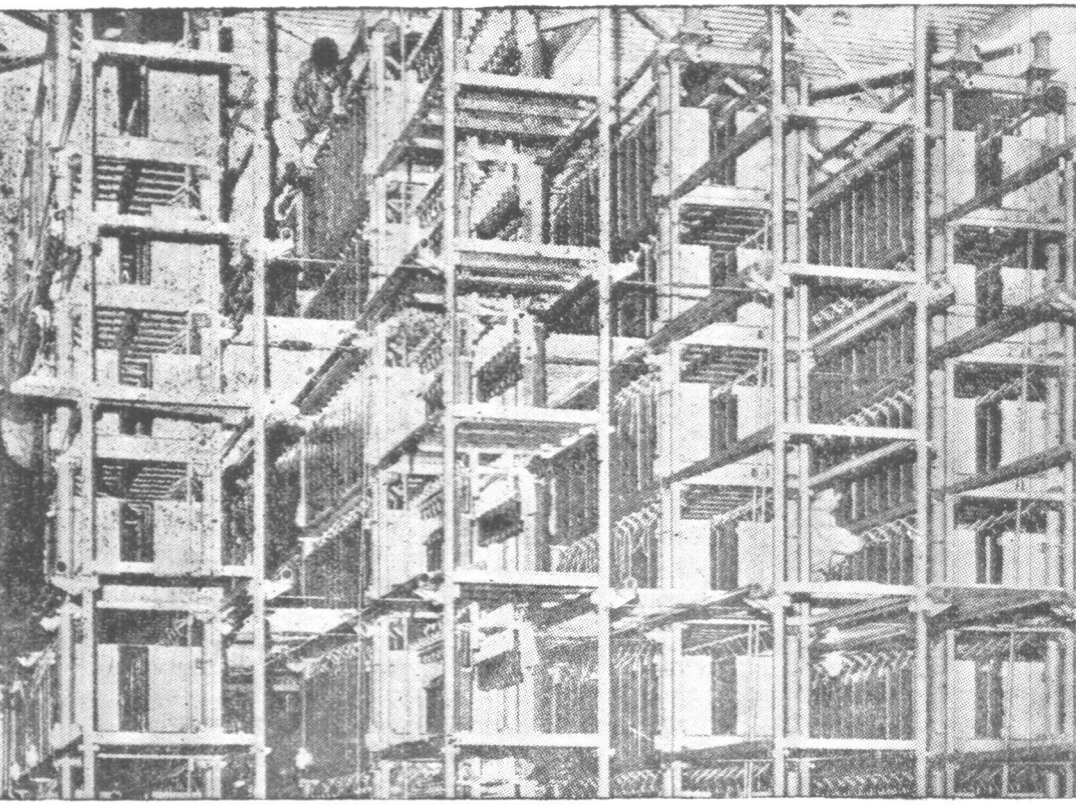
وهناك نوع يسمى « الزجاجة المغناطيسية » تستعمل طريقة العصر . فالتيار الكهربائى عندما يمر فى موصل فإنه يولد مجالاً مغناطيسياً حول هذا الموصل ، وهذا المجال يضغط على الموصول فيعصره ، فإذا كان التيار قوياً ازدادت قوة العصر .

والبلازما اللازمة للاندماج تعتبر موصل جيداً للكهرباء . وعندما يمر تيار كهربائى خلالها فإنه يضغطها إلى خيط رفيع من الغاز ويحفظها بعيداً عن جدران الأنبوبة التى يمر فيها .

وهذه هى النظرية التى يعمل بها وهى عملية غير سهلة . فإن من الصعب الاحتفاظ بالقوة المغناطيسية فى حالة انتظام . فالضغط غير المنتظم يحدث تقوساً واعوجاجاً فى ضبط البلازما حتى تتقارب من جدران الأنبوبة ، ولذا فإن الاحتفاظ بضغط مناسب لجزء من مليون من الثانية يعتبر مشكلة عويصة .

وهناك زجاجة أخرى مغناطيسية يمكن الحصول عليها بالملفات الكهربائية خارج البلازما . وتصمم هذه الملفات لتوليد خطوط مغناطيسية من القوى تمتد حلزونياً على طول الوعاء فتجرى دقائق البلازما خلال الوعاء فى حركة حلزونية أيضاً حول هذه الخطوط الحلزونية للقوى أشبه بحركات حبل ملتو .

وهذان النوعان من الأوعية المغناطيسية يجب أن يكونا على شكل حلقة دائرية حتى لا تتأثر أجزاء البلازما من الجوانب. غير أنه من الناحية العملية وجد أن الأوعية الاسطوانية الشكل أنسب للمفاعلات ذات القوى الكبيرة ، ولكن الاسطوانات المستقيمة لها طرفان . ودقائق البلازما لاينبغى أن تصطدم بأى طرف ، ولذا لابد من استخدام المرايا المغناطيسية عند كل طرف حتى تنعكس عندها دقائق البلازما ولا تتصادم بشىء .



(صورة رقم ١٢)

مثل من أمثلة المعدات التى تلزمها عملية الاندماج النووى ، وهى مجموعة من المكثفات تستخدم فى تجربة « زويس » Zeus فى لوس آلاموس Los Alamos

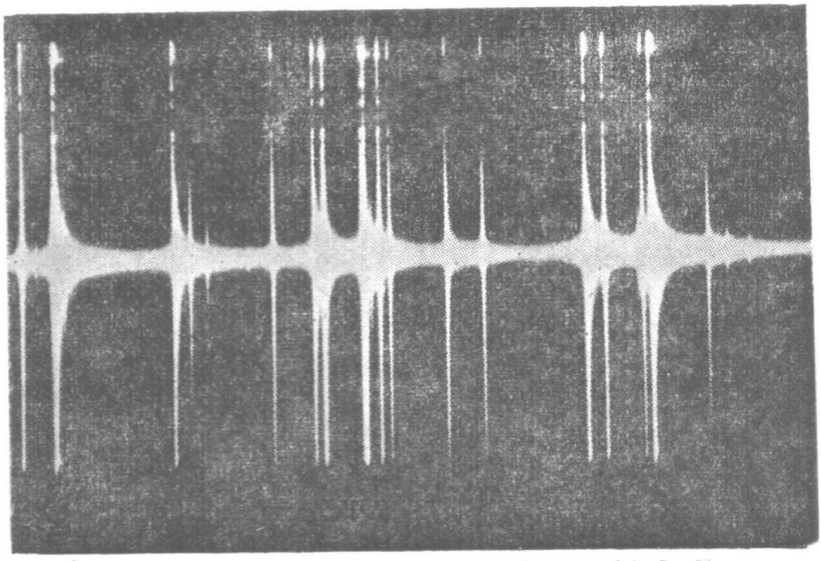
وهذه الطريقة وغيرها من الطرق سليمة من الناحية النظرية ولكنها صعبة التنفيذ . ومن الناحية الاقتصادية يجب أن تكون وحدات قوى الاندماج ضخمة جداً ، وهاهى صورة من صورها :

تتكون المحطة الكيماوية من عدة أبراج مشيدة على شاطىء نهر أو بحيرة تشبه معامل تكرير البترول . وعملها فصل الديوتيريوم من الماء العادى ، وهى طريقة معقدة جداً ؛ إذ تتبادل ذرات الأيدروجين مراراً بين الماء (يد ٢ ا) وكبريتات الأيدروجين (يد٢ كب٤) لتكوين ماء يحتوى على كمية من الديوتيريوم أكثر من كميته العادية . وأخيراً يركز هذا الماء الغنى ، بالتقطير الجزئى ، فيعطى ماءً ثقيلاً نقياً (كل ذرات الأيدرجين على شكل ديوتيريوم) . وعند إمرار تيار كهربائى خلال الماء الثقيل ينبعث منه غاز الديوتيريوم النقى .

وتتصل أنابيب من جهاز التكرير بمبنى ضخم من الأسفلت ليس له نوافذ ، وهذا البناء عبارة عن صهريج كبير للتفاعل حيث يسخن الديوتيريوم كهربائياً ليصبح بلازما . وتضغط المجالات المغناطيسية البلازما إلى مجرى يسبح فى حيز مفرغ داخل الصهريج . بحيث لا تمس جدرانه مطلقاً . ويستمر التسخين حتى تصل البلازما الناتجة من غاز الديوتيريوم إلى درجة ١٠٠,٠٠٠,٠٠٠ تقريباً .

وهنا تتقارب نوى ذرات الديوتيريوم من بعضها حتى تلتصق أو تندمج ، فتبعث طاقة هائلة على شكل حرارة مما يسبب اندماجاً لكمية ديوتيريوم أكثر ، فتنبعث حرارة أكثر ، وهكذا ، وهكذا ، على شكل تفاعل متسلسل ، والحرارة تنطلق مادام هناك وقود .

وعندما تندمج ذرتان من الديوتيريوم ، ينتج عن ذلك ذرة من الهليوم



(صورة رقم ١٣)

كيفية معرفة الوقت الذى « تضغط » فيه الغازات الساخنة : إن ألوان طيف الغاز (التى تظهر على شكل خطوط) تصبح عريضة عند عملية الضغط — لاحظ هنا الخطوط المركزية العريضة .

ونيوترون (وهو الجزء غير المشحون الذى يدخل فى تركيب نوى معظم الذرات) . وتتحرك النيوترونات بسرعة فائقة ، ويمكنها أن تتحول إلى طاقة حرارية غير ثابتة بإرسال النيوترون خلال الماء . وتبطىء جزيئات الماء النيوترون ، وتمتص طاقته ، وتتراقص هذه الجزيئات بسرعة فائقة مما يسبب سخونة الماء .

ومجموعة النيوترونات المنبعثة من تفاعل الاندماج يمكن استغلالها بطريقة أخرى . فعندما تصطدم النيوترونات بذرات أى نوع من الليثيوم ، فإنه ينقسم إلى هليوم وأيدروجين (وهذا تفاعل انقسامى ويطلق طاقة ذاتية) . والأيدروجين الناتج يختلف عن كل من الأيدروجين العادى والديوتيريوم، فهو تريتيوم ، أى نظير أيدروجينى يحتوى على ثلاثة أجزاء (١ بروتون و ٢ نيوترون) فى نواتها .

والتريتيوم ذو فائدة كبيرة ، حيث أنه أسهل فى الاندماج مع الديوتيريوم من اندماج نوايا الديوتيريوم مع بعضها .

وعلى ذلك ، فإن وحدات قوى الاندماج تحتاج إلى ليثيوم أيضاً . فهو يكون غطاءً لصهريج التفاعل . وتبعث نيوترونات التفاعل التريتيوم من هذا الغطاء . ويجمع غاز التريتيوم ويغذى به الصهريج ليمتزج بالديوتيريوم ويتصل بالتفاعل .

ومفاعل الاندماج يعتبر فرناً عجيباً لم يحلم به أحد من قبل ، وهو يولد كميات هائلة من الحرارة التى يجب تحويلها إلى كهرباء . وطريقة التوليد العادية التى تجعل البخار يدير التربينات التى تشغل المولدات الكهربائية تلائم الطراز الذى وصفناه .

ومن العبث عمل مجهود ضخم لكى نصل إلى درجة حرارة ١٠٠,٠٠٠,٠٠٠

لمجرد تكوين بخار فى مثل هذه الحرارة العالية . ولذا ، تجرى حاليـــاً الأبحاث لإيجاد طرق لتوليد الكهرباء بدون مولد يعمل بالبخار . وهذه الطرق أبسط وربما يمكـنها استغلال درجات الحرارة العالية الناشئة من الاندماج ، وكلما ازدادت درجة الحرارة ارتفاعاً كانت الطريقة أكفأ .

والاندماج النووى تتوفر فيه مزايا الأمان والكفاءة والاقتصاد لإنتاج القوى بكميات ضخمة ، مما تعتبر مثالية لمحطات التوليد فى المدن الكبيرة لإنارة المنازل وتشغيل المصانع فى الجهات المزدحمة . وتقدر كفاية الوحدة التى سبق شرحها بمقدار ٢,٠٠٠,٠٠٠ كيلوواط ، وهى تكفى لكل حاجيات مدينة ديترويت ، على سبيل المثال .

وهذا يعنى أن الاندماج النووى لا يصلح لكل غرض ، فمحطات التوليد الصغيرة التى تعمل فى مناطق منعزلة لا يصح أن تستعمل الاندماج ، كما أن آلات الاندماج لا تصلح للسفن أو الطائرات أو السيارات .

ومن الصعب تخيل استعمال تفاعل الاندماج فى العلاجات الطبية . كما أن الاندماج لا ينتج المخلفات المشعة التى لها فائدة كبرى .

وكل هذه الأغراض يمكن قضاؤها بالانقسام . وسنرى فى الفصول التالية أن بداية طيبة قد بدأت فعلاً .