الفصل الثالث

القوى للجميع

إن عجلة الحياة تحتاج إلى قوى تسيرها ، وكلما كانت تلك القوى متوفرة ورخيصة كانت حياة الإنسان سهلة رغدة. ويمكن للقوى الذرية أن تكون متوفرة ورخيصة بدرجة لا تتوفر فى أية طريقة أخرى قديمة .

ويعتمد مستوى المعيشة العالى فى البلاد الصناعية على وقود رخيص ومتوفر . وهذه المناطق ذات المستوى العالى تتوفر فيها موارد الفحم والبترول ومصادر القوى المائية . فالوقود الرخيص يعنى قوى رخيصة تدير الصناعات الكيماوية والمعدنية بشكل اقتصادى .

ويعتبر الفحم والبترول من المواد الثقيلة ذات التكاليف الباهظة فى شحنها مسافات بعيدة ، بينما لا يمكن شحن القوى المائية مطلقاً ، والكهرباء المتولدة من أى منها لا يمكن نقلها إلا لمسافات محدودة لا تتعدى مئات الأميال .

وتعيق هذه العوامل الصناعة فى الجهات الفقيرة فى الوقود . ولنفرض أن الوقود متوفر بدرجة كبيرة لدرجة أن مصاريف الشحن تصير عاملاً غير هام . ففى تلك الحالة يصبح الموقع الجغرافى لا أهمية له ، ويكون من السهل إقامة الصناعة فى أية منطقة ما دامت المسألة تتعلق بالوقود .

ولكن هل يوجد مثل هذا الوقود . . ؟ هناك ثلاثة : نوعان من

اليورانيوم ثم البلوتونيوم . وكما ذكرنا فى الفصل الماضى فإن رطلاً من اليورانيوم يحتوى على طاقة تساوى طاقة منبعثة من ثلاثة ملايين رطل من الفحم .

وبالمقارنة نجد أن شحن وقود ذرى ليس بمشكلة ، وبذلك يمكن إعداد القوى الاقتصادية حيثما دعت الحاجة إليها وليس بمجرد توفر الوقود .

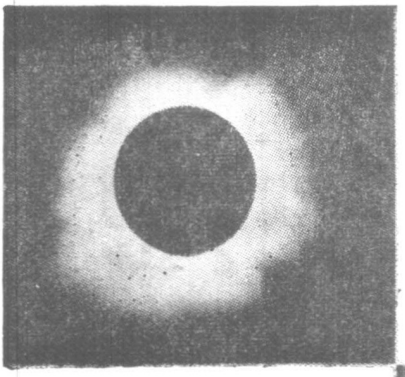
والقوى الذرية تعنى الكهرباء ، ولو أن الفرن الذرى لا يزيد عن كونه فرناً ، وهو لا يولد الكهرباء مباشرة ولكن يعطى حرارة تولد بخاراً لتسيير مولدات التربينات بالطريقة التقليدية .

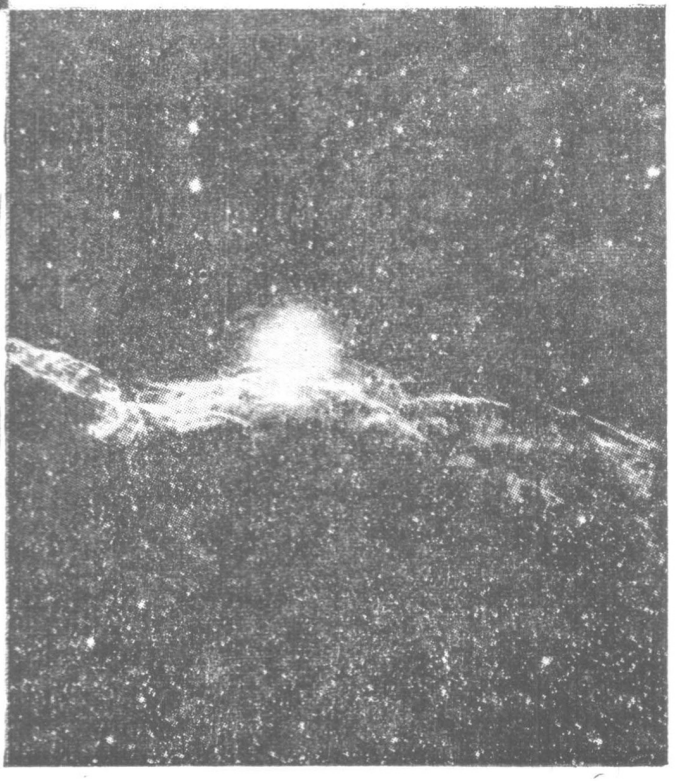
وهناك أنواع عديدة مختلفة من الأفران الذرية ولكن أحسنها هو المفاعل المائى المضغوط PWR وقد أختير للمحطات الضخمة المولدة فى مدينتى نيويورك وبتسبورج ، وأنشىء بعض منها فى مدن مختلفة فى العالم . وتعتبر هذه الأفران أكثرها أماناً وأسهلها تشغيلاً .

والوقود الذى يستهلكه هذا المفاعل هو يورانيوم ممتاز ، وهو يورانيوم طبيعى مضافاً إليه يو ٢٣٥ نقى ، وذلك على شكل صفائح معدنية طويلة أو قضبان مغطاة بمعدن آخر كالألومنيوم أو الزركونيوم ، وذلك لوقايتها من التآكل . ويمكن لحم عدة صفائح على شكل صندوق لتكون عنصر الوقود.

وتحزم هذه العناصر الصندوقية الشكل بطريقة خاصة من أطرافها . ونواة الفرن أو صندوق الوقود عبارة عن كمية كافية من اليورانيوم توضع بترتيب خاص يسمح بالتفاعل المتسلسل للانقسام للدرجة المطلوبة .

وللتحكم فى وقود الفحم فإن الفرن الفحمى به ضوابط تنظم كمية الهواء الكافية للاحتراق . وفى المفاعل النووى تكون هذه الضوابط على شكل قضبان معدنية متحركة تنظم كمية النيوترونات الكافية لإحداث الانقسام .





(صورة رقم ٦)

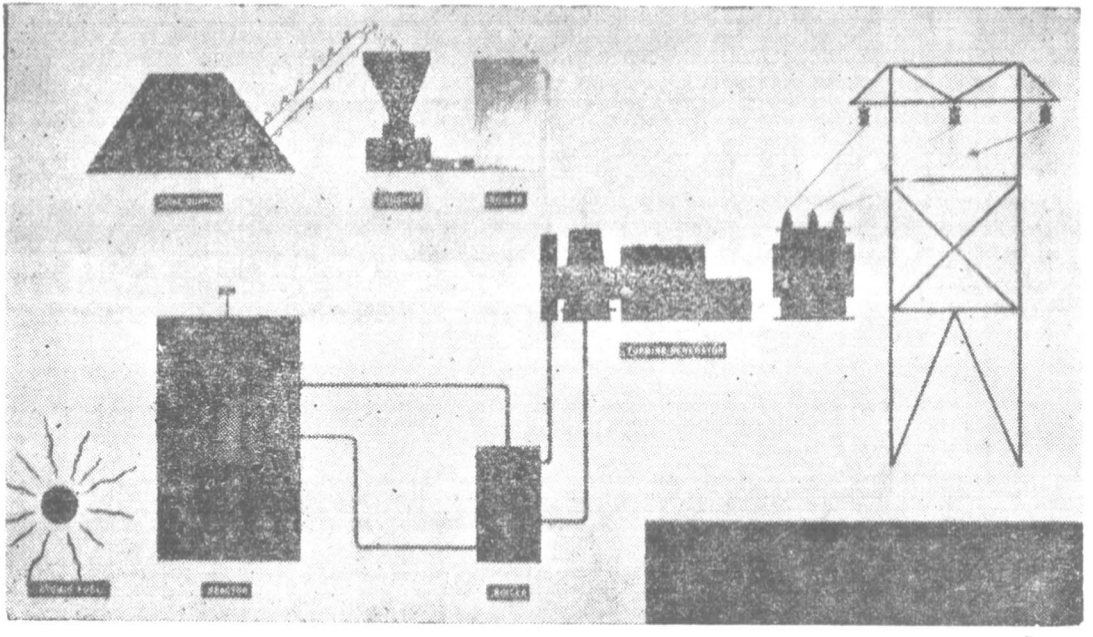
يمكن لمكعب من اليورانيوم ٢٣٥ (فى حجم المكعب المبين فى الصورة) أن ينتج كمية من الطاقة تعادل ثلاث ملايين رطل من الفحم وهى تكفى لإنارة منزل لمدة ألف عام أو إنارة مدينة نيويورك بأكملها ليلة واحدة تقريباً .

وتصنع القضبان التى تتحكم فى تلك العملية من الكادميوم أو الهافنيوم الذى يمتص النيوترونات . وتتحرك إلى أعلى وإلى أسفل داخل صندوق به عنصر الوقود أو مجموعة من تلك الصناديق فتمتص عـــديداً من النيوترونات حتى يتوقف التفاعل المتسلسل . وعندما ترفع تدريجياً تعطى سطحاً أقل قابلية لامتصاص النيوترونات فتزداد كميتها ويحدث التفاعل المتسلسل .

ويجرى الماء فى أنابيب خلال صناديق عنصر الوقود ويغمر الصفائح وله فائدتان . أولهما أنه يعمل كمعدِّل فيبطىء النيوترونات إلى السرعة التى لا بد أن تسير بها لعمل الانقسام . كما أن الماء يعتبر أحسن وسيط للتبادل الحرارى فيمتص الحرارة المنبعثة من الانقسام . ولكى نمنع الماء من الغليان فيفسد التفاعل فى هذا النوع من المفاعل فإننا نجعله تحت ضغط (يرفع الضغط درجة الحرارة اللازمة للغليان لأى سائل) . وبهذه الطريقة ترتفع درجة حرارة الماء إلى أكثر من ٦٠٠ درجة فهرنهيت ويبقى سائلاً .

وبالإضافة إلى سخونة الماء من ناحية درجة الحرارة فإنه يسخن أيضاً لدرجة كبيرة من حيث القدرة الإشعاعية . ومن ثم فإن هذا المبرد الأولى لا يستخدم بطريقة مباشرة لتشغيل المولدات . وبدلاً من ذلك فإنه يسحب فى أنابيب لمعدِّل حرارى حيث يعطى حرارته إلى مصدر مياه آخر ، وهذا المبرد الثانى ليس تحت ضغط ويتحول إلى بخار ، ويغذى هذا البخار توربينات محكمة متصلة بمولدات كهربائية .

ولا يسمح باختلاط مصدر الماء الأساسى — الذى يدخل فى المفاعلات فيصبح ذا قدرة إشعاعية — بمياه المصدر الثانى الذى يحرك المولدات . لذلك تمر المياه الأولى فى أنبوبة دائرية مقفلة تبدأ من المفاعل وتدور حتى المعدل



(صورة رقم ٧)

محطات القوى العادية تنتج الكهرباء عن طريق إحراق الفحم أو الغاز ليولد البخار الذى يدير التربينات والمولدات . أما فى المحطات الذرية (أنظر أسفل الشكل) فيحل مفاعل اليورانيوم أو البلوتونيوم محل الفلايات العادية .

الحرارى وبالعكس. وبذا فإن المبرد الثانى لا تصبح له قدرة إشعاعية ، ومن ثم نتخلص من وجود بخار به إشعاعات وما ينجم عن ذلك من أخطار . وفى معظم الأحوال يوضع المفاعل والمبرد والأنابيب فى خزانات محكمة لا تنفذ منها الغازات ، وعلى ذلك فإذا حدث أى تسرب لسبب طارىء فإن هذا التسرب لا ينفذ للهواء الخارجى .

ومن أسباب أفضلية المفاعل المائى تحت الضغط أنه سهل التشغيل ، وذو تحكم ذاتى ، ويعمل بطاقة أكبر عندما يشتد الطلب عليه ، ويمكن أن يعمل بطاقة أقل إذا لم تكن الحاجة ماسة إليه .

ويرجع التحكم الذاتى للمفاعل المائى إلى المعدِّل المائى . والواقع أن ذرات الأيدروجين فى اتحادها مع ذرات الأكسيجين لتكوين الماء تعتبر من العوامل الملطفة . فإن النيوترونات تصطدم بذرات الأيدروجين فتفقد جزءاً من سرعتها إلى أن تصل إلى السرعة المطلوبة التى تسبب الانقسام . فإذا أخذ الماء فى البرودة فإنه ينكمش قليلاً وتصبح ذرات الأيدروجين أكثر التصاقاً ببعضها . وهذا يعنى أن النيوترونات لها فرصة أكبر فى أن تصطدم بقوة بذرات الأيدروجين فتفقد السرعة . وبإبطاء نيوترونات أكثر للسرعة المسببة للانقسام يزداد التفاعل المتسلسل .

وبهذه الطريقة يعمل المفاعل المائى على حسب المستوى الذى يتطلبه الحمل . ولنفرض أن الكمية المطلوبة من الكهرباء ازدادت عندما تضاء الأنوار فى الغسق مثلاً ، ففى هذه الحالة تتطلب القوى المتزايدة من المولدات كمية بخار أكثر للتربينات . وسحب بخار أكثر من المعدِّل الحرارى يسبب برودة المبرد الأصلى ـ أى معدِّل الماء ـ وعندما يصل الماء الذى أصبح فى درجة برودة غير عادية إلى المفاعل فإن ذرات الأيدروجين تتلاصق ببعضها أكثر ،

فتندمج نيوترونات أكثر وتفقد سرعتها، فيزداد التفاعل النووى وترتفع حرارة الماء، فتسير العملية ثابتة على المستوى الجديد والعكس بالعكس. فإذا قلت الحاجة إلى الكهرباء أصبح البخار المطلوب أقل فيصبح المبرد الأساسى أكثر ارتفاعاً فى الحرارة فتتباعد ذرات الأيدروجين ويقل تصادم النيوترونات ويضعف التفاعل.

وخاصية التحكم الذاتى هذه تعطى المفاعل المائى صفة الأمان، فإذا بدأ التفاعل فى الازدياد فإن تأثير الحرارة على المعدِّل يجعل مستوى التشغيل السابق يعود إلى ما كان عليه.

والسؤال الآن ما هو مدى خطورة القوى الذرية..؟ فالمفاعل المائى ذو الضغط لا يمكن أن ينفجر لأنه يتحكم ذاتياً فلا يمكن أن يختل بمعنى أن تفقد السيطرة عليه فترتفع درجة حرارته ارتفاعاً شديداً، وقد جرت محاولات متقرنة لمعرفة ما يحدث إذا ما ارتفعت الحرارة أكثر مما ينبغى، وقد أدى ذلك إلى انصهار عناصر الوقود وتوقف التفاعل النووى واختفاء لهيب الفرن.

ورغم ذلك فإن المهندسين عندما يضعون تصميمات المفاعل المائى أو أى طراز آخر من الأفران الذرية فإنهم لا يعتمدون على هذا الأمان المكتسب، بل يستخدمون لهذه الوحدة وسائل عديدة وقائية على ثلاث درجات وليست مزدوجة، ومعظمها يعمل أوتوماتيكياً. ويكفى عدد قليل من الأشخاص لتشغيل وحدة كبيرة.

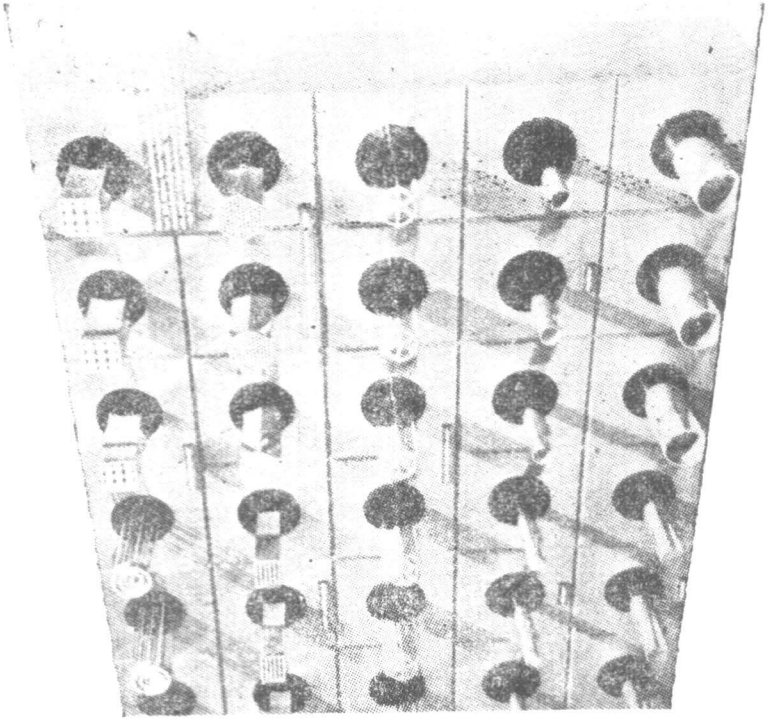
فإذا ما شاهدت غرفة المراقبة فى محطة كهربائية نموذجية فى محطات المفاعل المائى فستأخذك روعة حجمها وفراغها، فحجمها يعادل حجم جراج ضخم لتصليح السيارات ولن تجد فى داخله سوى رجلين جالسين على مكتب

مغطى بالزرائر ومؤشرات اللمبات وأجهزة القياس وغيرها مما يغطى الجدران الأربعة من الأرضية حتى السقف .

ويشمل المكان الهـــدوء فلا تسمع إلا همهمة منبعثة من المحولات الكهربائية والموتورات الصغيرة وتنبعث منها أضواء قوية دون أن تبهر الأبصار حتى يسهل قراءة المؤشرات. وهذا العدد الضخم من أجهزة القياس يجعل إشراف المختصين فى أضيق الحدود ، كما ترشد أجهزة القياس إلى كل ما يجرى فى الوحدة وكيف تعمل أجهزة المراقبة الأوتوماتيكية وتسجلها فى سجلاتها الدائمة فى سطور دائمة الحركة .

ولا يشغل المختصون أنفسهم بضبط تلك الأعمال الروتينية ؛ إذ تقوم بذلك عنهم المراقبة الأوتوماتيكية . على أنهم يجب أن يكونوا فى غاية اليقظة لكل ما هو غير روتينى . فقد يضاء النور الأحمر وقد يدق الجرس بقوة ، وكل ذلك ينذر بحدوث شىء غير عادى يستلزم استقصاء الأمر .

وقد مر الآن وقت كاف على تشغيل وحدات المفاعل المائى بحيث يمكن الحكم على أن مصممى هذه الأجهزة كانوا متحفظين فيما يتوقعون حدوثه . وكانت أول محطة لتوليد اللهب الذرى والتى أصبحت جزءاً ثانياً فى شبكة التشغيل هى المفاعل المائى ذات ٦٠,٠٠٠ كيلو واط ، والتى أسسها وستنجهاوس لشركة كهرباء ديكوزن ، والتى تخدم منطقة بتسبرج . وكان ذلك يوم ٢ ديسمبر سنة ١٩٥٧ ، وهو يوم تاريخى ؛ إذ كان ذكرى مرور ١٥ عاماً على الانقسام النووى الذى جاء به إلى العالم « إنريكو فيرمى » . وقد أنتجت هذه الوحدة فى عامين ٣٨٨,٥٠٠,٠٠٠ كيلو واط/ساعة من الكهرباء دون إمدادها بأى وقود آخر . ثم أمدت بوقود آخر ، وذلك بعد أن اشتغلت الوحدة ضعف المدة الأصلية التى كانت مقررة لها .



(صورة رقم ٨)

يشكل الوقود الذرى على هيئة قضبان طويلة لاستخدامها فى المفاعل ، ونرى فى الصورة بعض أشكالها ، أما الوقود نفسه فينطلى بمعدن لا يتآكل .

وأكبر عيب فى المفاعل المائى هو ما يولده من بخار ؛ إذ لا يكفى لاستعمال التربينات بكفاية ، وكلما ازدادت سخونة البخار ازدادت القوة المستخلصة منه . وتستعمل محطات توليد الكهرباء الحديثة بخاراً أكثر ارتفاعاً فى الحرارة بمئات من الدرجات عما ينتجة المفاعل المائى كما أن بخار هذا المفاعل مثقل ببخار الماء ، فهو بخار مركز . وبخار الماء يعتبر غير مرغوب فيه ، لأنه يسبب تآكل صفائح التربينات مما يزيد تكاليف الصيانة .

ويمكن تشبيه المفاعل المائى بالآلة البخارية القديمة التى اخترعها جيمس واط فهى مأمونة وسهلة الاستعمال مما يجعلها مفضلة لمدد طويلة .

وهناك أنواع أخرى ينتظر أن تكون ذات ميزات أفضل من المفاعل المائى ، وتختبر مزاياها حالياً فى محطات التجارب فى أنحاء مختلفة من العالم .

ومن أفضل تلك الأنواع فى الولايات المتحدة مفاعل الماء المغلى BWR وأولها ـ وهو ذو حجم متكامل ـ وحدة درسدن التجارية القريبة من شيكاغو ، واسمه كومنولث إديسون ١٨٠,٠٠٠ كيلوواط صممته شركة جنرال الكتريك بعد تجارب طويلة فى معامل الطاقة الذرية .

ومن أهم مزايا مفاعل الماء المغلى تكاليفه الزهيدة ، وذلك لبساطته . فهو عبارة عن خزان يحوى مفاعلاً وماء ، ويغلى الماء من تفتيت ذرات اليورانيوم داخل المفاعل. ويذهب البخار الناتج إلى مولد التربينات مباشرة . وهذه الطريقة توفر المعدل الحرارى الثانوى وكثيراً من المضخات اللازمة لأجهزة المياه المضغوطة .

غير أن هناك عيباً فى هذا الجهاز ، فكل الماكينات المولدة فيه تصبح مشعة ، بينما فى المفاعل المائى لا يذهب البخار الذى يدير التربينات مطلقاً إلى المفاعل ، ولذا لا يكون مشعاً . وعندما نوقف الجهاز لصيانته يمكن رفع

التربينة دون احتياطات خاصة كما فى أى محطة توليد عادية . بينما يأتى البخار اللازم للتربينة فى وحدة الماء المغلى مباشرة فى المفاعل فيصبح مشعاً . ويجب العناية بدقة لمنع أى تسرب فى الأنابيب ، كما أن التربينة نفسها تصبح ملوثة مما يعقد الصيانة .

ولكن هذه المشكلة لم تكن معقدة كما كان متوقعاً ، فإن البخار مشع بدرجة معقولة. وبعد توقف العمل تكون التربينة مشعة بدرجة ضئيلة جداً .

وقد تدارس الخبراء مدى سلامة الماء المغلى، فقد خشوا أن تغير الفقاقيع الناتجة من الغليان كثافة السائل المعدِّل ، مما يجعل المفاعل غير ثابت أو قد ينفجر. وبعد إجراء تجارب طويلة باهظة التكاليف فى المعامل الحكومية ، ثبت أن مفاعل الماء المغلى مأمون . وأجريت تجارب عنيفة على المفاعلات التجريبية فلم تنفجر . وتبين أن هذا المفاعل فى ظروف التشغيل الطبيعية ثابت ويستجيب بسرعة إلى مطالب القوى المتغيرة .

ويستعمل الماء فى كل من المفاعل المائى ومفاعل الماء المغلى لهدفين أساسيين، وهما تعديل التفاعل (إبطاء سرعة النيوترونات اللازمة للانقسام)، ونقل الحرارة من اليورانيوم إلى التربينة . فالماء ممتاز للغرضين ، كما أنه زهيد الثمن ، ولكنه غير مثالى . فدرجة غليانه منخفضة . وعناصر التبريد الأخرى قد تكون أفضل واكفأ لأنها تعطى درجة حرارة أعلى للتشغيل. فكلما ارتفعت درجة حرارة الوحدة أعطت قوى أكثر وهذا هو القانون الأساسى فى الديناميكا الحرارية .

وهناك نوع آخر يسمى المفاعل المتجانس ويستعمل فيه وقود سائل ومعدِّل ممتزجين بعضهما ببعض . والوقود قد يكون مركباً من اليورانيوم ذائباً فى الماء ويدفع السائل من وإلى خزان داخلى حيث يحدث تفاعل الانقسام .

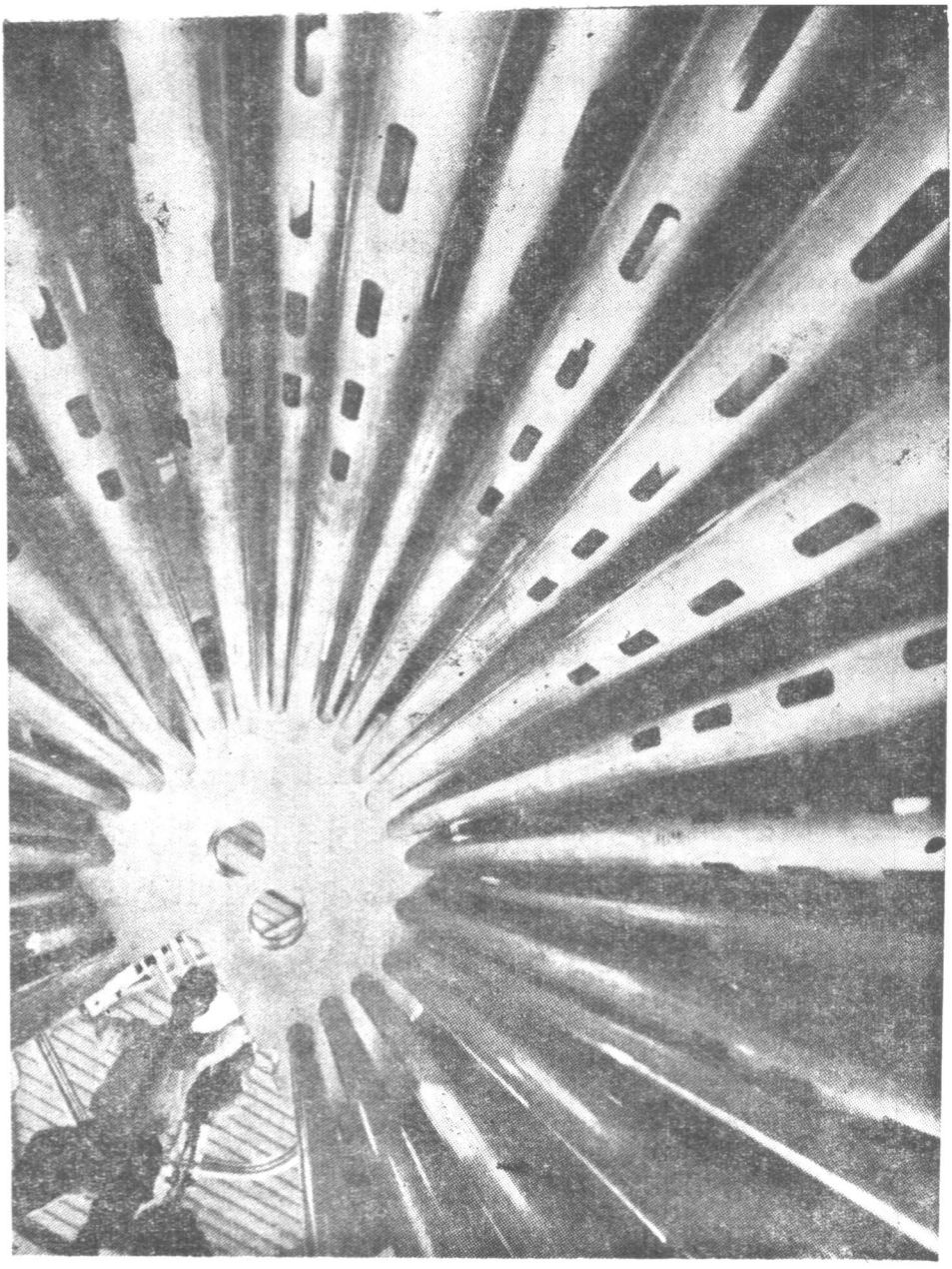
ويخرج المحلول من الداخل مباشرة إلى وحدة كيماوية حيث يتخلص من الرماد النووى الذى يوجد فى المحلول ثم يضاف وقود آخر . ويستخلص جهاز التبريد المائى الحرارة حول المركز الداخلى ويصبح البخار مخصصاً للتربينات .

والمفاعل المتجانس يروق للمهندسين ، فمن حيث وقوده ورماده فى مداولتهما يشبه أى فرن عادى يعمل بالفحم، فيوضع الوقود بصفة مستمرة فى أحد الأطراف وتؤخذ المخلفات من الطرف الآخر دون الحاجة إلى إيقاف الفرن . وبطبيعة الحال فإن الرماد يكون مشعاً، ولذا يجب أن تكون أنبوبة الرماد ذات دروع قوية ويجب ملاحظتها جيداً خوفاً من حدوث أى تسرب .

تغذية الوقود الذرى : إن عملية تجديد الوقود بدلاً من الذى استهلك — وذلك فى المفاعلات التى تعمل بعناصر الوقود الصلبة — ليست سهلة كما تبدو، ولكنها فى الوقع عملية معقدة دقيقة فضلاً عن كونها خطيرة . إذ يجب أن يفتح قلب المفاعل . وحتى عند توقف الانقسام فإن القلب يشع كميات كبيرة من الأشعة المميتة . وعناصر الوقود المستهلكة تكون مشبعة بمنتجات الانقسام وخاصة الرماد الذى يحوى كمية كبيرة من الإشعاع .

ويمكن التغلب على هذه الصعوبة جزئياً بشحنة وقود تعمل لمدة طويلة ، ويمكن حتى للمفاعل ذى القوى الضخمة أن يعمل عدة شهور دون إشعال وقود جديد .

ويمكن أن نأخذ فكرة عن العملية المعقدة فى استعمال وقود جديد من الطريقة المستعملة فى إيقاف المفاعل المائى تحت الضغط . إذ يجب عمل ذلك بالتحكم البعيد فلا يمكن للمختصين حتى مجرد النظر فيما يعملون ، بل لابد لهم أن يكتفوا بالمراقبة بوساطة مناظر ضوئية .



(صورة رقم ٩)

قضبان التحكم التى تضبط « نيران » الفرن الذرى ـ وهى تنزلق إلى إعلى وإلى أسفل داخل هذه الأنابيب اللامعة ـ وقد استخدم التصميم المبين فى محطة الطاقة الذرية فى شيبنج بورت Shipping Port بولاية باسدينا ونشاهد فى الجزء الأسفل إلى اليمين من الصورة فتحتان هما بوابات إمداد الوقود .

وبوساطة رافعة خاصة كتلك التى تستعمل فى محطات القوى غير الذرية يرفع الدرع الأعلى والغطاء الذى يغطى فتحة الخزان الذى يحوى المفاعل، وترفع المياه جزئياً من الخزان بحيث تغمر غطاء الضغط الموجود فوق قلب المفاعل . فالماء فى الواقع يعتبر درعاً قوياً يقى من الأشعة الذرية. وعندئذ ينزع غطاء الضغط بوساطة الرافعة وينكشف القلب المضيء .

وتلتقط الرافعة الضخمة رافعة أخرى صغيرة وتنخفض بها فى مكان العملية داخل الخزان . وهذه الرافعة ليست من النوع العادى ذى الخطاف بل تحمل ذراعاً ممتدة إلى أسفل .

ويحول العامل المختص الرافعة من بعيد حتى تلمس مؤشراً خاصاً فى قلب المفاعل ويراقب ذلك بوساطة المنظار الضوئى ، ثم يجرى توصيلات خاصة تعمل أوتوماتيكياً على ضبط الذراع فى الموضع المحدد مباشرة فوق عنصر الوقود المراد إزالته . وتحرك توصيلة أخرى الذراع إلى أسفل خلال الماء الأزرق إلى عنصر الوقود .

وهناك قابض فى طرف الذراع يحكم قفل عنصر الوقود ، وترفع هذه الذراع الوقود إلى خارج قلب المفاعل ، ويراقب المختص عن بعد بأجهزته تحريك الذراع جانباً حاملة عنصر الوقود إلى سلة خاصة ، وذلك بصفة مؤقتة ، ويتركها فى تلك السلة داخل خزان المفاعل حتى تنزع الرافعة . ثم تستعمل الرافعة الكبيرة مرة أخرى فترفع تلك السلة إلى أعلى أثناء غمر خزان المفاعل بالماء وتنتقل إلى قناة خاصة لحفظها . ويمكث عنصر الوقود فى تلك القناة مغموراً بالماء حتى تتلاشى منه بعض الإشعاعات . ثم ينقل إلى وعاء محكم معدنى وينقل إلى وحدة أخرى .

وكم تبدو تلك العملية معقدة وغريبة . ولكن رغم صعوبتها وتكاليفها وماكيناتها المحكمة الأوتوماتيكية فإنها عملية لها قيمتها .

وذلك لقوة تركيز الوقود ؛ إذ تعادل الكتلة الواحدة منه أطناناً عديدة من الفحم. كما أنه يعيش مدة طويلة دون الحاجة إلى استبداله بوقود جديد.

والوقود المستهلك ثمين جداً . فهذا الوقود عبارة عن عنصر لا يمكنه أن يحترق تماماً . والرماد المتراكم المتخلف من عملية الأفران يتفاعل مع العنصر ويتدخل فى تفاعل الانقسام ، كما أن الوقود غير المستهلك فى العنصر ينقى ويعد لعنصر جديد .

وحتى الرماد له فائدة قصوى ؛ إذ هو مشع بدرجة كبيرة ، ويمكن استعماله مصدراً للإشعاع بمجرد إخراجه من المفاعل . وقد جرب هذا فى تعقيم الطعام بوساطة الإشعاع .

ويمكن تنقية الرماد فهو يحتوى على خليط غريب من المواد النادرة التى لا يمكن الحصول عليها من مصادر أخرى . فهى لا توجد كمعادن طبيعية ومعظمها مشعة ولذا فهى ثمينة .

وقيمة العنصر المستهلك يكمن فى الوقود الجديد الذى يحتويه . ويمكن أن يكون هناك وقوداً أكثر فى العنصر بعد خروجه من الفرن مما كان عليه قبل استعماله . وهذا « التوالد » يحدث بانتظام فى مفاعلات القوى الكهربائية . فالحصول على وقود أكثر مما وضع ، كالحصول على شىء من لا شىء ولكن هذا هو ما يحدث .

ولنفرض أن الوقود المستعمل هو اليورانيوم الطبيعى أو اليورانيوم الممتاز ويحتوى على يورانيوم ١٣٥ ، والباقى يورانيوم ٢٣٨ . ولكن النوع ٢٣٥ هو الذى ينقسم ويشترك فى التفاعل . ولا يعتبر اليورانيوم ٢٣٨ وقوداً ذرياً . ولكن تخرج النيوترونات من انقسام يو ٢٣٥ لتصطدم مع يو ٢٣٨، وهذا يحول يو ٢٣٨ إلى العنصر الجديد البلاتونيوم ، وهذا العنصر قابل للانقسام ، فهو وقود ذرى يشبه يو ٢٣٥ .

وعلى هذا الوجه فإن تفاعـــل الانقسام فى الوقت الذى يستهلك فيه الوقود لتوليد حرارة للقوى ، يولد فى الوقت نفسه وقوداً جديداً. ولا يمكن بالضبط اعتبار ذلك حصول شيء من لا شيء ، وإنما فى الواقع يعتبر تحويل مادة غير مستعملة إلى أخرى مستعملة .

ولا يعتبر اليورانيوم ٢٣٨ العنصر الوحيد الخصب ، فالثوريوم يستعمل أيضاً وعندما تصطـدم به النيوترونات يتحول الثوريوم إلى يورانيوم ٢٣٣ ، وهو وقود مستعمل فى الانقسام كما يستعمـــل البلوتونيوم واليورانيوم ٢٣٥ .

وتصمم وحدات القوى الذرية بحيث تستفيد من قدرتها على صنع الوقود، ويستفاد من ذلك فى تخفيض التكاليف النهائية لتوليد الكهرباء . وهناك أغطية من هذه المادة « الخصبة » تحيط بقلب المفاعل . وهى لا تحتوى على وقود ولا تساهم فى تفاعل الانقسام ، وإنما فائدتها فى أنها تستعمل النيوترونات التى تخرج من القلب. وتوجد بالمفاعلات الأخرى قضبان من المادة «الخصبة» توضع داخل القلب بجانب عناصر الوقود، أو تخلط المادة الخصبة بالوقود .

وإذا كان الوقود الذرى الناتج داخل قلب المفاعل وليس فى الأغطية، فإنه يستهلك مباشرة حيث يكون . أى أن المفاعل يصنع الوقود ثم يستهلكه أثناء العمل ، مما يجعل الوقود يعيش أكثر ويطيل فترة العمل بين بدء العملية وانتهائها . وقد صممت الوحدة الذرية لمدينة نيويورك لتعمل على هذا الأساس بوساطة الثوريوم الخصب مخلوطاً بوقود اليورانيوم الممتاز .

إن الأفران الذرية المولدة للكهرباء ذات الكفاية العجيبة، لتثير دهشة العالم . فهى تولد كميات ضخمة من الكهرباء من كمية ضئيلة من الوقود .

ليس هذا فحسب ، بل تصنع وقوداً إضافياً لتستعمله ثانية ، كما أن الرماد المتخلف ذو فائدة كبيرة .

وينبغى أن تكون الكهرباء الذرية رخيصة كالكهرباء المولدة من وحدات الفحم، إن لم تكن أرخص. وهذا ما حدث فعلاً حتى مع النموذج T الموجود الآن ، وحتى فى المناطق التى لا يكون فيها الفحم مرتفع الثمن . وقد يدعو الاستهلاك العام للكهرباء إلى بناء وحدات تعمل بالفحم لسنين عديدة ، ولكن فى المستقبل القريب ستكون الكهرباء ذرية .