الفصل الثانى

الأصغر حجماً الأكبر شأنا

إن أعظم قوى فى يد الإنسان تنبعث من شىء متناه فى الصغر ، ألا وهو الذرة . فالذرة دقيقة الحجم لدرجة أن ٢٠ مليوناً منها لا تكاد تعادل حجم رأس دبوس رغم أن الواحدة منها تحوى طاقة هائلة .

وهناك حوالى مائة نوع من أنواع الذرة المختلفة تستغلها الطبيعة فى كل جوانب الحياة . فالأرض والزرع والأشجار والماء والبشر ، كل ذلك يدخل فى كيانه الذرة وإن اختلفت نسبتها وترتيبها .

فالماء مثلاً يتكون من اتحاد ذرتين من الأيدروجين وذرة واحدة من الأكسيجين ، بينما يتكون الملح من ذرة واحدة من كل من الصوديوم والكلور . والسكر يتكون من ١٢ ذرة كربون و٢٢ ذرة أيدروجين و ١١ ذرة أكسيجين . وما الشجر إلا خليط من ذرات الكربون والأيدوجين والأكسيجين والنيتروجين فى تركيبات مختلفة تضم ذرات أخرى عديدة مختلفة .

ثم ماذا بداخل الذرة . . . ؟ إن اللعبة الميكانيكية مثلاً تحتوى على صواميل ومسامير وقضبان وغير ذلك ، ولكن كلها مصنوعة من الصلب . وكذلك الحال فى لعبة الطبيعة ، فإن الذرة من الكبريت تختلف تماماً عن

مثيلتها من الأكسيجين ، غير أنهما وغيرهما من الذرات متشابهة التركيب .

وهناك ثلاث وحدات أساسية تكون حوالى ١٠٠ ذرة تدخل فى تركيب كل شى . وهذه الوحدات الأساسية تسمى الإلكترونات ، والبروتونات، والنيوترونات . وكلها بطبيعة الحال متناهية فى صغر الحجم .

فالإلكترونات متناهية فى خفة الوزن ولها شحنة كهربية سالبة .

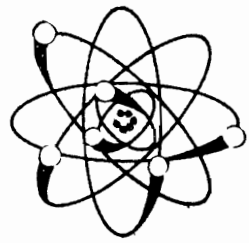
بينما البروتونات أثقل وزناً من الإلكترونات بمقدار ٢٠٠٠ مرة ولها شحنة كهربية موجبة .

أما النيوترونات فوزنها كوزن البروتونات ولكنها بدون شحنة كهربية .

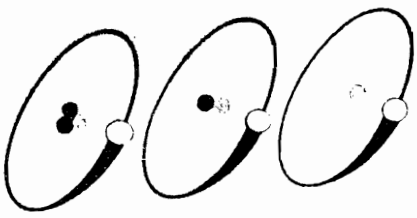
والذرة كالكرة غلافها الخارجى عبارة عن سحابة من الإلكترونات التى تشكل حجم الذرة لا وزنها . وعدد هذه الإلكترونات هو ما يحدد صفات الذرة الطبيعية والكيماوية .

وفى مركز الذرة نجد البروتونات والنيوترونات متماسكة فيما بينها لدرجة كبيرة وتكوّن النواة . وهذه النواة مركزة فى حجم صغير جداً يصعب تصوره ، وهى أصغر من حجم الذرة بمقدار ٢,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠ مرة فإذا تخيلنا أن الذرة فى حجم منزل ، فإن النواة تصبح فى حجم رأس الدبوس . وهى متماسكة بقوة وتزن ٤٨٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠ ضعفاً من حجم مماثل لها من الماء .

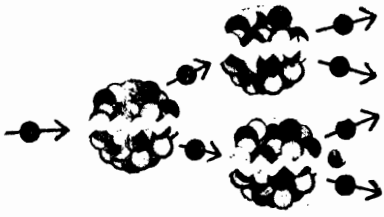
وتحتوى النواة فى داخلها على عدد من البروتونات يساوى عدد الإلكترونات بخارجها . وعلى هذا فالذرة متعادلة كهربائياً فيما بين البروتونات الموجبة الشحنة والإلكترونات السالبة الشحنة .



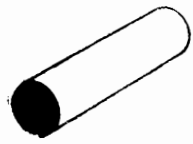
(ا)



(ب)

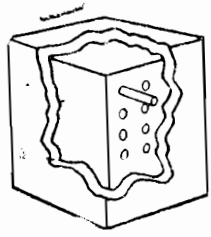


(د)



(جـ)

(و)



(هـ)

(صورة رقم ٢)

(ا) الذرة : هى أصغر جسيم للعنصر الأساسى كالكربون . وتتألف من بروتونات ونيوترونات تحيط بها الإلكترونات .

(ب) النظائر — كل الذرات من عنصر واحد متشابهة فيزيائياً وكيماوياً ، ولكن بعضها يزن أكثر قليلاً من البعض الآخر . وهذه الذرات « التوائم » تسمى بالنظائر .

(جـ) اليورانيوم : أثقل العناصر الطبيعية ، يوجد على شكل نظيرين — يورانيوم ٢٣٥ ، ٢٣٨ — وتشير الأرقام إلى أوزانها بالنسبة إلى أبسط الذرات — الأيدروجين .

(د) الطاقة الذرية : تنتج « سلسلة من التفاعلات » حين يتجمع عدد كاف من ذرات اليورانيوم ٢٣٥ وحينئذ تنطلق نيوترونات من ذرة لتحطم ذرات أخرى فتتولد الطاقة .

(هـ) الفرن الذرى : صممت الأفران الذرية من أجل الاستفادة من الطاقة الهائلة التى تنتج عن الانقسام النووى وعن طريق هذه الأفران يمكن ضبط عملية سلسلة التفاعلات .

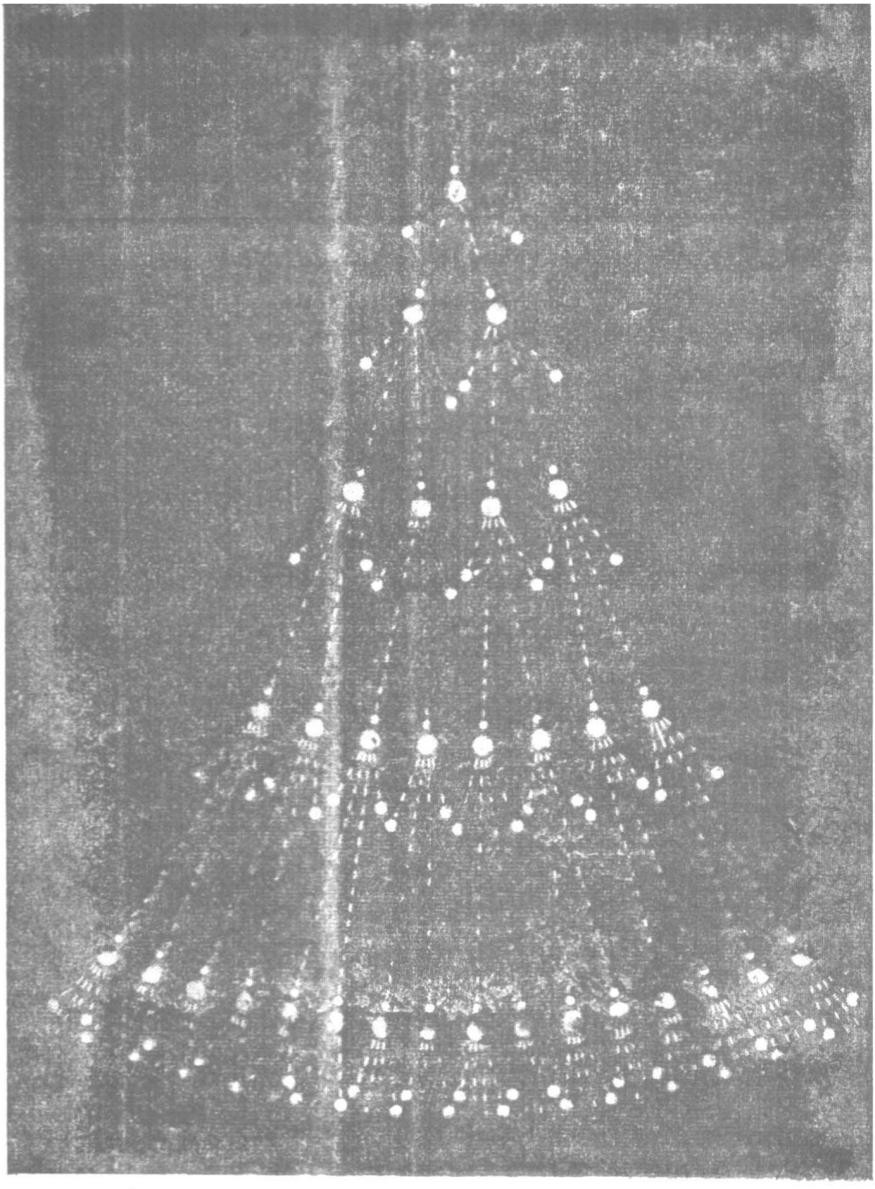
(و) النظائر المشعة : قد تصبح العناصر مشعة إذا ما وضعت فى فرن ذرى وسلط عليها وابل من النيوترونات — وتسمي هذه الذرات حينئذ بالنظائر المشعة .

والطبيعة ترتب هذا التكوين فى بنيان مرصوص يشبه جداراً مبنياً من الطوب ، فنقطة البداية هى الأيدروجين ، أبسط أنواع الذرة ، وهو يحتوى على بروتون واحد وإلكترون واحد (وبدون نيوترونات) . ثم يأتى بعد ذلك الهليوم الذى يحتوى على ٢ بروتون و ٢ إلكترون و ٢ نيوترون . أما الأكسيجين فيحتوى على ٨ بروتون و ٨ إلكترون و ٨ نيوترون . واليورانيوم على ٩٢ بروتون و ٩٢ إلكترون و ١٤٦ نيوترون .

ويختلف عدد النيوترونات باختلاف الذرة ، كما أن عدد الإلكترونات والبروتونات فى الذرة يزداد واحداً فواحداً بالنسبة للعناصر الخفيفة فالأثقل وهكذا . وليس هذا هو الحال بالنسبة للنيوترونات ، فهى تزداد بازدياد الوزن الذرى ، ولكن بلا انتظام . والأهم من ذلك أن مجموع الذرات لعنصر ما لا يحتوى على نفس العدد من النيوترونات .

ولنأخذ الأيدروجين كمثل . فالأيدروجين العادى لا يحتوى على نيوترونات ، ولكن هناك نوع نادر من الأيدروجين يسمى ديوتيريوم يحتوى على نيوترون واحد ، وآخر أكثر ندرة يسمى تريتيوم يحتوى على ٢ نيوترون ، وكلها ذرات من الأيدروجين بكل منها بروتون واحد وإلكترون واحد ، وهذا ما يميز كل عنصر بصفاته الطبيعية والكيماوية .

وهذه الذرات التى تختلف فيما بينها من حيث وجود النيوترونات تسمى بالنظائر . وكل عنصر له أكثر من نظير مشع واحد . فهناك حوالى ألف من هذه النظائر للمائة عنصر . وبخلاف أيدروجين ١ ، أيدروجين ٢ ، أيدروجين ٣ يوجد أكسوجين ١٦ ، أكسوجين ١٨ ، كربون ١٤ ، كوبالت ٥٩ ، كوبالت ٦٠ ، وهذه أمثلة لها أهمية خاصة فى العلوم . وهذه الأعداد تمثل مجموع البروتونات والنيوترونات التي توجد في نواة الذرة . وحيث أن



(صورة رقم ٣)

سلسلة التفاعلات النووية : تبدأ هذه السلسلة بتكسير ذرة واحدة من اليورانيوم ٢٣٥ أو البلوتونيوم فينتج عن ذلك طاقة كبيرة وينطلق عدد من النيوترونات التى تصطدم بدورها بذرات أخرى من اليورانيوم ٢٣٥ أو البلوتونيوم فتكسرها هى الأخرى وبهذا تتولد طاقة أكبر وعدد أكثر من النيوترونات . وتتكرر هذه العملية بلايين المرات فى الثانية وتسمى سلسلة التفاعلات .

عدد البروتونات ثابت فإن الاختلاف بين النظائر المشعة يكون فى اختلاف عدد النيوترونات ، أى أن كلاً من الكربون ١٢ والكربون ١٤ يحتوى على ٦ بروتونات لكل منها، ولكن الكربون ١٢ له ٦ نيوترونات بينما الكربون ١٤ له ٨ نيوترونات .

وتشغل نظائر اليورانيوم حيزاً كبيراً من هذا الكتاب ولا عجب فقد بنى العصر الذرى على دراسة حالة نظير مشع من اليورانيوم .

وهذا العصر الذرى الذى نعيش فيه إنما هو ثمار قرنين كاملين من الجهد الجهيد الذى بذله العلماء فعرفوا من خلال دراستهم أن نواة الذرة تختزن طاقة هائلة ، فهى أشبه بالمحارة التى تحمل فى وسطها زنبركاً قوياً ما أن تنكسر حتى يبرز هذا الزنبرك بقوة .

غير أن نواة الذرة محارة صلبة من العسير كسرها . فهى لا تتأثر بالكيماويات أو الكهرباء أو الحرارة ، ولكن من الممكن كسرها . والطريقتان اللتان استعملتا فى انقسام الذرة كان لهما أكبر الأهمية فى كل الميادين التى طرقها الإنسان . وهاتان الطريقتان هما القدرة الإشعاعية والانقسام .

فالقدرة الإشعاعية هى تفتيت النواة الذرية ذاتياً . والكثير من الذرات الثقيلة ، أى تلك التى تحتوى على عدد كبير من البروتونات والنيوترونات تعتبر غير ثابتة . والتوازن بين البروتونات والنيوترونات فى نوى تلك الذرات غير مستقر ، فهى تحاول أن تصبح أكثر اتزاناً بإخراج أجزاء منها . فإذا أخرجت واحداً أو اثنين من النيوترونات فإن الذرة تتحول إلى نظير مشع مختلف من نفس العنصر . بينما لو أخرجت واحدة أو اثنتين

من البروتونات فإن الذرة تتحول إلى عنصر مختلف تماماً . ويمكن أيضاً للذرة أن تخلط أو تعدل بروتوناتها ونيوتروناتها فتتحول إلى عنصر آخر مختلف .

وأكثر العناصر من حيث القدرة الإشعاعية هو الراديوم الذى تنطلق منه أجزاء تتحول إلى رصاص . وهناك حوالى أربعين ذرة لها قدرة إشعاعية طبيعية . وبالإضافة إلى ذلك فإن الذرات الثابتة حتى الخفية منها من الممكن تحويلها صناعياً إلى ذرات ذات قدرة إشعاعية بإدخال جسيمات إضافية إلى نواتها . وهذا يعنى أن التحويل الإشعاعى أو النظائر المشعة للذرات العادية، ممكن تكوينها إذا لم تكن موجودة فى الأصل . أى أنه يمكن إيجاد كربون أو حديد أو كوبالت أو كبريت مشع ، وفى بعض الأحيان يمكن عمل أكثر من نظير مشع من عنصر واحد . وهناك حوالى مائة من النظائر المشعة فى معامل أوك ريدج بولاية تنيسى .

وينطلق من الذرة المشعة عند تفتيتها جزء من الطاقة المختزنة فى داخلها. وتظهر هذه الطاقة على شكل حركة أو حرارة أو ضوء . فنعلم مثلاً أن هناك ضوءاً منبعثاً من ذرات راديوم مشعة على عقربى ساعة فتتوهج .

ورغم أن هذه الطاقة ذات فائدة كبيرة وضخمة نسبياً إلا أن كميتها ليست كبيرة . فالراديوم مثلاً من أعظم العناصر المشعة الطبيعية ، ولكن لا يمكن الحصول على حرارة منها تكفى لإنتاج بخار لإدارة محطة قوى كهربائية .

إن الطاقة الهائلة التى تكمن فى مركز الذرة من الممكن إطلاقها إذا ما عملنا على تفتيتها بطريقة مختلفة . فبدلاً من نزع جسيم صغير كما يحدث

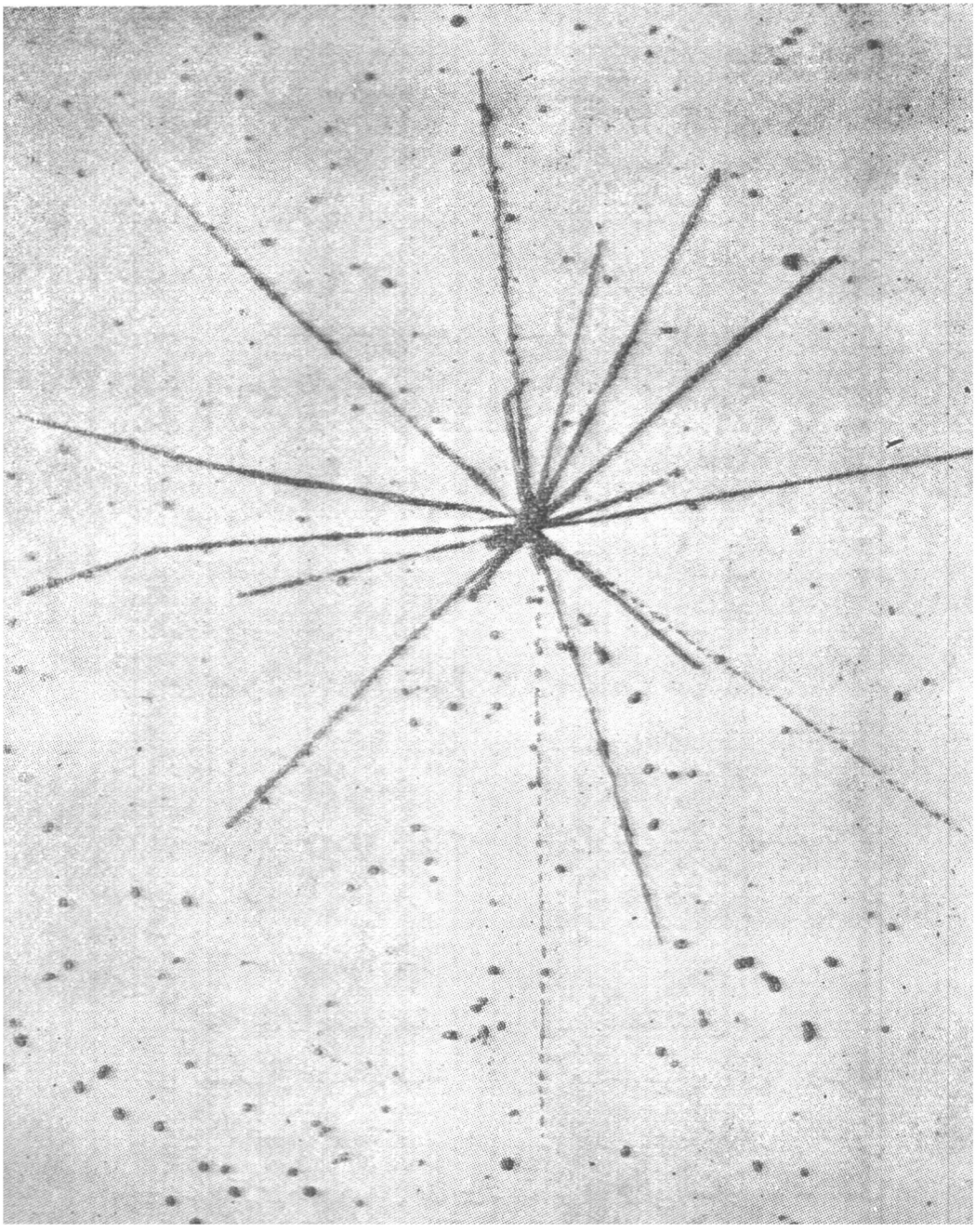
فى مركز الذرة فى حالة النشاط الإشعاعى نجعلها تنقسم انقساماً مزدوجاً . وهذا ما نسميه بالانقسام النووى .

وتحتوى بعض الذرات الكبيرة على عدد من البروتونات والنيوترونات فى مراكزها أشبه بقطرة كبيرة من الماء معلقة من صنبور مياه غير محكم . فنى هذه الحالة ليس من العسير تفتيتها ، فبمجرد إضافة جسيم للنواة تتفتت الذرة الأصلية إلى قسمين متساويين فى جزيئات أخرى عديدة وتنطلق منها طاقة هائلة .

وتظهر الطاقة بسبب نقص فى المادة التى تحويها الذرة الأصلية ، فوزن الشظايا الناتجة لا يساوى الوزن الأصلى للنواة ، والفرق فى المادة لم يختف ، فهذا محال ، ولكنها تحولت إلى طاقة كما فسر ذلك ألبرت أينشتين وبهذا تحول الجزء الصغير من المادة إلى طاقة هائلة .

والذرات التى تنقسم بهذه الكيفية وتصحبها تلك الطاقة الهائلة ، هى البلوتونيوم واثنان من نظائر اليورانيوم .

واليورانيوم معدن عادى استعمل منذ عهد طويل فى صنع السيراميك الملون ، ويستعمل فى صقل القيشانى باللون البنى ، وملون به إشارات المرور الكهربائية باللون الكهرمانى . وأقل من ١ ٪ من اليورانيوم عبارة عن نظير (يو ٢٣٥) من النوع الذى يتفتت . بينما النظير (يو ٢٣٨) لا يتفتت . ومع ذلك يمكن تحويل (يو ٢٣٨) إلى عنصر صناعى هو البلوتونيوم ، ويمتاز بأنه قابل للتفتت كذلك ، ويوجد عنصر طبيعى هو الثوريوم يمكن تحويله إلى نظير مشع آخر من اليورانيوم قابل للتفتت وهو (يو ٢٣٣) . وهذه الأنواع الثلاثة من الذرات ـ يو ٢٣٥ ، يو ٢٣٣ ، والبلوتونيوم ، تعتبر وقود الطاقة الذرية .



(صورة رقم ٤)

انكسرت ذرة ـ فى هذه الصورة الفوتوغرافية نرى فعل نيوترون وقد اصطدم بذرة (مركز النجم) فنتج عن ذلك تفجير فى الذرة الى ١٧ قطعة مختلفة تطايرت فأحدثت الخطوط التى نراها .

ويمكن مقارنة الانقسام الذرى بما حدث قبل التاريخ عندما وقع نظر الإنسان لأول مرة على نار مشتعلة فى شجرة ، فهذه كانت ظاهرة طبيعية ذات فائدة قصوى للإنسان . ولكن قبل أن تستغل النار لفائدة الإنسان فى التدفئة وطهو الطعام ، كان عليه أن يستأنسها وأن يبقى على جذوتها بإشعال قطع من الوقود الواحدة من الأخرى وهكذا حتى لا تخبو .

وهذا هو الحال فى الانقسام النووى . فكان لابد من اختراع أنواع عديدة مختلفة من الأفران التى من شأنها أن تجعل الذرة تنقسم إلى سلسلة منتظمة من متتابعة من الانقسامات ، وهكذا استؤنست الطاقة الذرية لفوائد كثيرة .

وسنبين هنا كيف يعمل المفاعل :

تنقسم الذرة يو ٢٣٥ ، يو ٢٣٣ أو البلوتونيوم عندما تصطدم نواتها بنيوترون . وعندما تنقسم تخرج منها نيوترونات جديدة فى المتوسط اثنين أو ثلاثة لكل انقسام فى يو ٢٣٥ .

ونحتاج إلى واحدة من هذه النيوترونات الجديدة لتحل محل النيوترون الذى استهلك فى عملية الانقسام ، ونحتاج أيضاً إلى نيوترون آخر للاسراع فى عملية الانقسام النووى ، أو بمعنى آخر « تقوية اللهب » ، وبهذا لا يبقى لدينا فى المتوسط سوى أقل من نيوترون واحد يكفى لتغطية الفاقد الذى لا يمكن تفاديه .

ومما يزيد فى تعقيد العملية أنه ليس فى مقدور نيوترون أن يحدث انقساماً ، إذ لابد أن يسير بسرعة مناسبة لكى تتفتت الذرة . وفى بعض

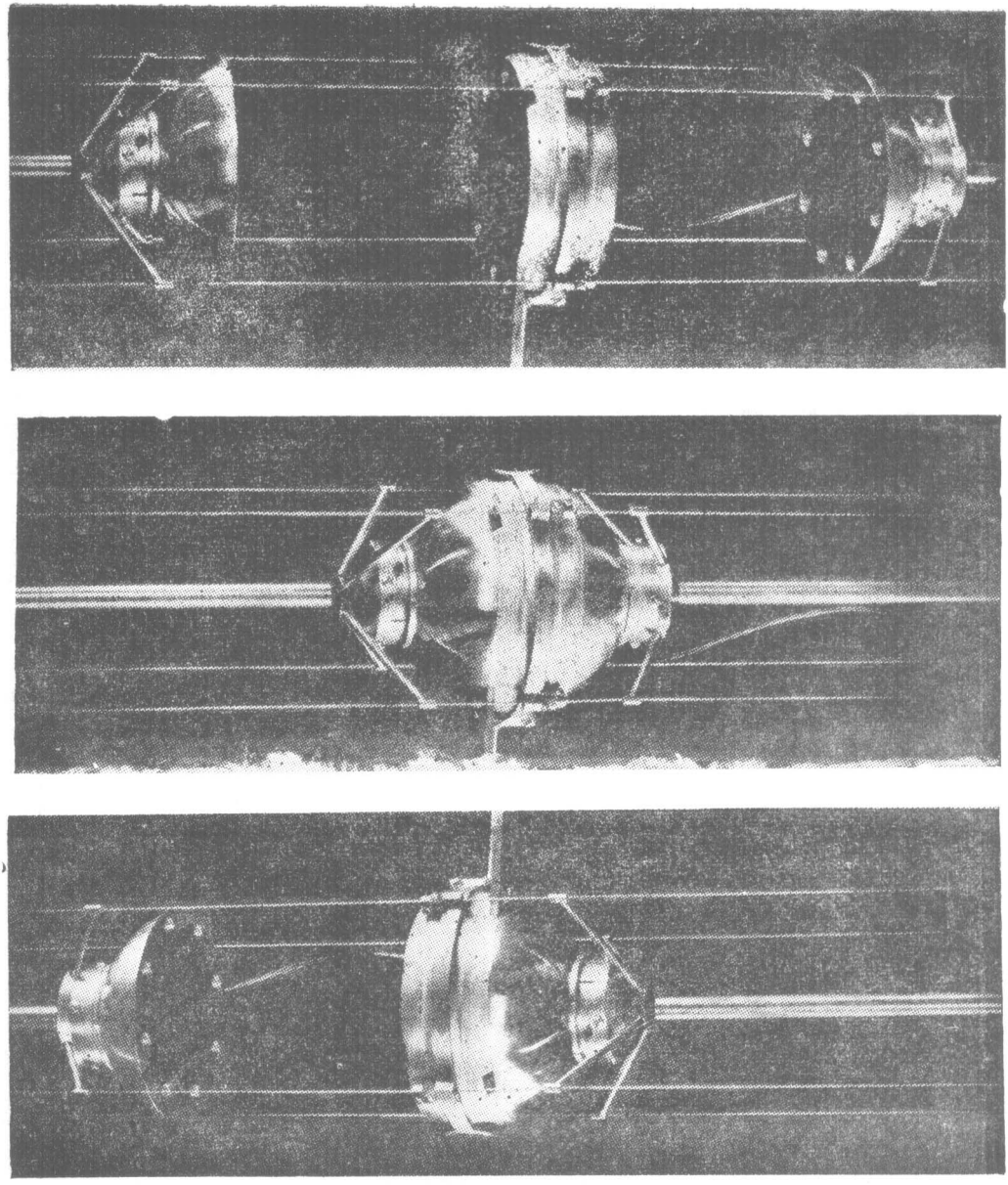
الحالات يلزم وجود نيوترونات « بطيئة » تسير بسرعة ميل فى الثانية لكى يحدث الانقسام ؛ وفى حالات أخرى نحتاج إلى نيوترونات « سريعة » تسير بسرعة آلاف الأميال فى الثانية .

ومعظم النيوترونات الجديدة المنطلقة من الانقسام سريعة ، فإذا ما أريد أن تكون ذات فائدة فى بناء تفاعل مسلسل بطىء . فيجب العمل على إبطاء حركتها وذلك بوساطة مزج الوقود ببعض الذرات التى تجعل النيوترونات ترتد منها حين تصطدم بها . وبذلك تفقد النيوترونات جزءاً من طاقتها فتتباطأ ويستعمل لهذا الغرض الكربون أو الماء كمعدل .

فإذا ماحزمنا ذرات كافية مع الكمية الصحيحة من المعدل ، فإن نيوتروناً واحداً يمكنه أن يشعل التفاعل المتسلسل ويبدأ فى العمل ، وكلما ازدادت النيوترونات انقسمت ذرات أكثر ، فينتج من ذلك نيوترونات أكثر وهكذا . ويزداد التفاعل حتى يتساوى عدد النيوترونات المتكونة بعد المستهلكة أو إلى درجة من السخونة الشديدة فيسيل الوقود .

ولذا يجب أن يكون هناك حد أدنى للوقود الذرى حتى يتسنى الحصول على تفاعل تسلسلى منتظم ، فالوقود إن كان حجمه أقل من « الحجم المحدد بالضبط » ، يفقد نيوترونات كثيرة من سطحه بحيث لا يمكن الاحتفاظ بهذا التفاعل .

ويمكن التحكم فى التفاعل المتسلسل بضبط عدد النيوترونات المستهلكة أو المفقودة . وبعض المواد مثل الكادميوم تمتص النيوترونات . ويمكن وضع القضبان المصنوعة من تلك المادة فى الوقود لإزالة أى عدد زائد من النيوترونات .



(صورة رقم ٥)

من أجل معرفة أقل كمية من القود تكفى لاستمرار عملية التفاعلات النووية — وهى ضرورية لتصميم المفاعلات الصغيرة — تجمع ثلاث قطع من القود وتتم العملية أمام كاميرا التلفزيون فى مبنى خال بينما يشاهد العلماء نتيجة العملية من على بعد عدة ياردات وذلك على شاشة التلفزيون .

الفرن الذرى :

أمكن استعمال طرق عديدة مختلفة لإدماج الثلاثة أجزاء الأساسية ، وهى الوقود والمعدِّل والقضبان ، فى الفرن أو المفاعل . غير أن أبسط الطرق هى مفاعل « حمام السباحة » ، ويحتوى على صهريج ضخم من الماء يعادل فى ضخامته حمام سباحة متوسط تغمر فيه قضبان من مواد الوقود . ويلعب المـــاء دور معدِّل . فيبطىء حركة النيوترونات للسرعة المناسبة للانقسام . كما أن له فائدة أخرى كدرع يمنع تسرب الإشعاع الخطير المنبعث من الانقسام . وتمتد إلى داخل المياه وفيه قضبان مواد الوقود ، قضبان تتحكم فى امتصاص النيوترونات للدرجة المطلوبة ، أو إلى الدرجة التى يتوقف فيها التفاعل . وعند البدء فى إعادة التفاعل تجذب قضبان التحكم إلى المستوى المطلوب لإجراء تلك العملية .

ويعتبر المفاعل الذرى مصدراً عجيباً من مصادر الطاقة حيث ينتج طاقة هائلة من كمية ضئيلة من الوقود لدرجة أن رطلاً من يو ٢٣٥ ينتج لنا طاقة تعادل طاقة ثلاث ملايين رطل من الفحم .

والمفاعل فى الواقع ليس سوى فرن يولد طاقة ٩٠ ٪ منها على شكل حرارة . ويقوم المفاعل بنفس الوظائف التى تؤديها الآلات البخارية فى إنتاج القوى والمواصلات وحتى فى تدفئة المبانى .

كما يولد المفاعل الجسيمات الذرية والأشعة بكميات ضخمة وتفوق فى فائدتها الحرارة التى يولدها ؛ إذ تستعمل مباشرة فى الطب والزراعة والبحوث العلمية ، كما تستعمل بطريقة غير مباشرة لتحويل العناصر العادية إلى نظائر مشعة صناعية تستعمل فى كل ميادين الحياة .