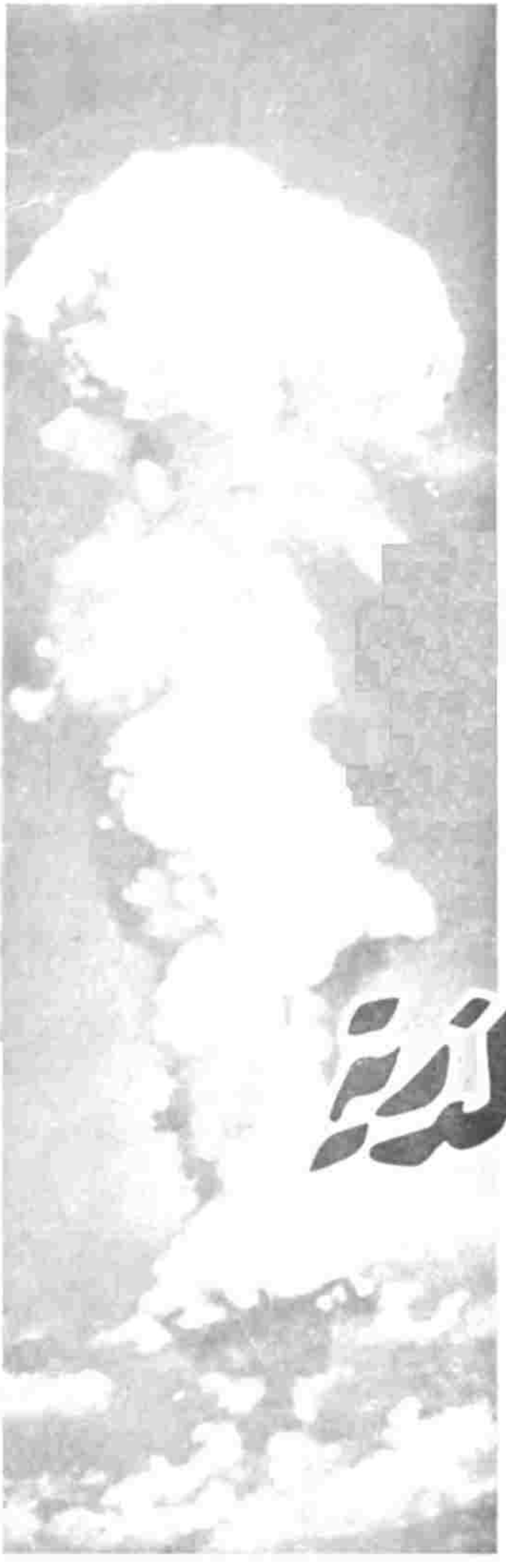



البروفسور اتو هان

رئيس معاهد الأبحاث العلمية بألمانيا
الحائز على جائزة نوبل للكيمياء


يقدم

# استخدام الطاقة الذرية


تعريب

الدكتور عفاف صبري
المدرس بجامعة فؤاد الأول

# استخدام
# الطـاقة الذرية

---

تأليف

**البرفسور أوتوهان**
رئيس معاهد الأبحاث العلمية بألمانيا
الحائز لجائزة نوبل ١٩٤٤

تعريب

**دكتور عفاف صبرى**
المدرس بجامعة فؤاد الأول

مطبعة مصر بالفجالة
١٩٥٢

ظهر هذا الكتاب باللغة الألمانية سنة ١٩٥١ فى سلسلة كتب

**مناقشات وتقريرات المتحف الألمانى**

التى ظهرت فى ألمانيا فى مدى ١٨ سنة ، من ١٩٢٩ الى ١٩٤٣
وبعد الحرب من ١٩٤٨ الى ١٩٥١ ، وكان آخرها هذا الكتاب

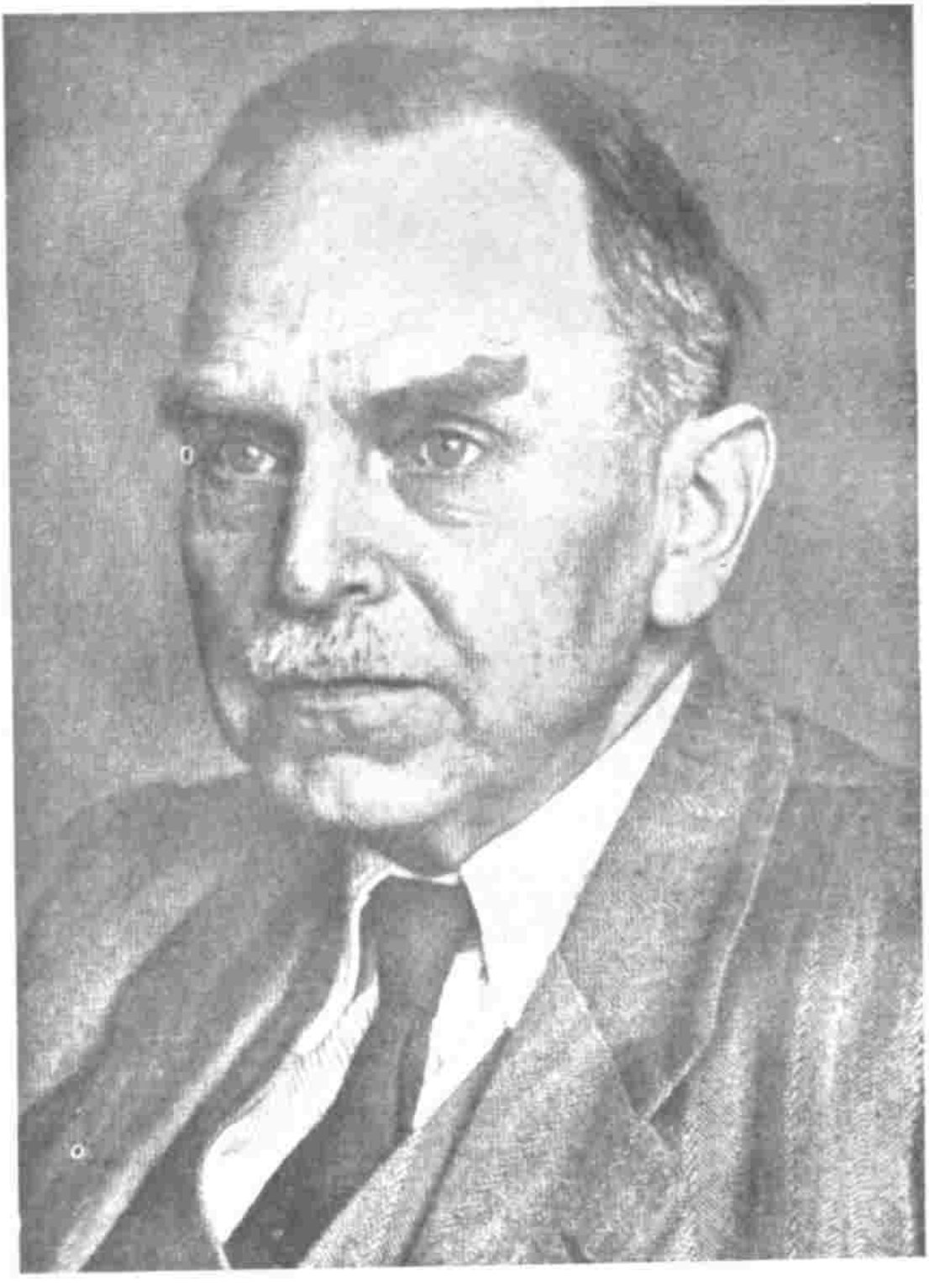
# مناقشات وتقريرات المتحف الألمانى

إخراج الأستاذ الدكتور زرنزن Soerensen ( أوسبرج )
والأستاذ الدكتور تسينك Zenneck ( ميونخ )

---

ولد الأستاذ أتوهان (Otto Hahn) فى ٨ من مارس ١٨٧٩ بمدينة فرنكفورت • درس الكيميا منذ ١٨٩٧ فى ماربورج وميونخ • حصـــل على الدكتوراه ١٩٠١ وقام بالتدريس فى برلين ١٩٠٧ • أصبح سنة ١٩١١ عضوا فى معهد القيصر ولهلم للكيميا و ١٩٢٨ مديرا له • تولى منذ ١٩٤٦ رياسة معاهد القيصر ولهلم لطلب العلم ( تسمى الآن معاهد ماكس بلانك ) •

الناشر للنسخة الأصلية الألمانية
R. Oldenbourg, Munich



**صورة «١»**

البروفسور أوتوهان

# مقدمة المعرِّب

تشرفت بمقابلة الأستاذ هان فى بلدة جتنجن فى أثنـاء قيامى بالأبحاث فى معهد ماكس بلانك للطبيعـة وحصلت منه على اذن ترجمة هذا الكتاب الى اللغة العربية كما حصلت قبلا على الاذن نفسه من الناشر .

والأستاذ هان ، الرئيس الحالى لمعـاهد ماكس بلانك للأبحاث العلمية فى ألمانيا والحائز لجائزة نوبل للكيميا ١٩٤٤ هو أول من اكتشف مع مساعدة ستراسمان قبيل الحرب العـالمية الأخـيرة تحطيم ذرة اليـورانيوم ٢٣٥ بتـأثير النيوترونات البطيئة .

وقد كان هذا الاكتشاف فاتحة لنوع جديد وهائل من الطاقة تتضاءل بالنسبة اليه جميع مصادر الطاقة المعـروفة حتى الآن . وستكشف الأيام المقبلة الانقلاب الذى أحدثه هذا الاكتشاف سواء فى الأغراض التدميرية أو فى الأغراض التعميرية .

ومما تجب الاشارة اليه أن العالم الكبير قد وجه اهتمامه واهتمام مساعديه فى أثناء الحرب الأخيرة الى الاستفادة من الطاقة التى فك عقالها فى الأغراض غير التدميرية فقط .

ويحدثنا الأستاذ هان فى هذا الكتاب عن تطور الأبحاث النووية فى ألمانيا ابان الحرب وكيف تطورت فى أمريكا الى انتاج القنابل الذرية ثم ينتقل الى التجارب الحالية فى أمريكا وانتاج القنبلة الايدروجينية ، كما خصص جزءا لمناقشة استخدام الطاقة الذرية فى المستقبل فى الأغراض التعميرية وانتهى الى الحديث عن التطبيقات الجديدة فى علوم الطب والكيميا وعلم الحياة وعلم المعادن .

القاهرة – يناير ١٩٥٢

# استخدام الطاقة الذرية

**بقلم اتوهان ( معاهد ماكس بلانك ، جتنجن )**

تقف الانسانية اليوم فى بداءة تطور قوة طبيعية جديدة • فنحن مدينون لأشعة الشمس الساقطة على كوكبنا بمعدل ثابت تقريبا منذ ملايين السنين كأساس لمصادر الطاقة المستخدمة حتى الآن ، سواء أكانت موارد العالم الهائلة من الفحم والبترول أو خشب الغابات أو مساقط المياه والأنهار أو قوة الرياح •

والآن أمكن التوصل لأول مرة الى الاستفادة من الطاقة الكامنة بداخل ذرات عناصر الأرض الكيموية •

وسوف يكون الحديث هنا حول هذه الطاقة ، ولذا يستحسن اعطاء صورة عن التطور الذى أدى الى امكان الاستفادة من هذه الطاقة عمليا •

ان الأمر الذى يهمنا هنا يتعلق بنويات ذرات العناصر الكيموية •

تتكون ذرة كل عنصر من نواة مشحونة بشحنة كهربية موجبة • ومن سحابة من الكهارب السالبة ( الكترونات ) تحيط بها تجعل الذرة بأجمعها متعادلة الشحنة • ويمكن

تصـــور الصغر الدقيق لنـــواة الذرة بالنســـبة الى الذرة بمجموعها اذا علمنا أن قطر النواة يساوى واحد الى عشرة آلاف من قطر الذرة ، وهذا يساوى واحد الى مائة مليون من السنتيمتر ! وبذا تكون النواة بالنسبة الى الذرة كرأس الدبوس بالنسبة الى منزل متوسط الحجم .

تتـــكون نويات جميـــع العنـــاصر الـــكيموية عـــدا الايدروجين[1] من نوعين من الجسيمات ، الأول عبارة عن جسيم موجب الشحنة ويسمى ( بروتون ) ووزنه ١ والثانى جسيم عديم الشحنة يسمى ( نيوترون ) وله الوزن نفسه . ويحدد عدد البروتونات فى النواة ( حاملى الشحنة الموجبة ) الخصائص الكيموية للعنصر . وبذا يمكن ترتيب العناصر حسب عدد بروتوناتها مبتدئين بالايدروجين ذى البروتون الواحد « شحنة النواة ١ » ثم الهليـــوم ذو البروتونين « شحنة النواة ٢ » وهلم جرا الى اليورانيوم ذو ٩٢ بروتون « شحنة النواة ٩٢ » .

لا تلعب النيوترونات دورا فى طبيعة العنصر وعـــددها بالاضافة الى عدد البروتونات فى النواة يعطينا الوزن الذرى للعنصر ، لذا كانت الأوزان الذرية ، باستثناء الايدروجين الذى لا يحوى نيوترون ، أكبر دائما من شحنة النواة . فمثلا

---

(١) تتكون نواة ذرة الايدروجين من جسيم واحد فقط هو البروتون الموجب الشحنة .

يحوى العنصر الثانى فى الترتيب الدورى للعناصر «الهليوم» نيوترونان علاوة على البروتونين وبذا يكون وزنه الذرى ٤ وكلما ارتفعنا فى سلسلة العناصر زادت النسبة المئوية للنيوترونات فى النواة • فالكلور مثلا تحوى نواة ذرته ١٧ بروتون و ٢٠ نيوترون واليورانيوم ٩٢ بروتون ، ١٤٦ نيوترون • واذا قل أو زاد عدد النيوترونات لعنصر كيمائى ، فهذا لن يغير من خصائصه الكيموية • وفى الواقع قد يكون بجانب العدد المحدد من البروتونات للعنصر أعدادا مختلفة من النيوترونات وبذلك توجد عناصر مشابهة تحوى نفس عدد البروتونات ولكن بسبب اختلاف عدد نيوتروناتها تختلف فى وزنها الذرى ( عدد البروتونات + عدد النيوترونات ) وتسمى هذه نظائر العنصر • فمثلا يوجد خلاف الايدروجين العادى بكمية ضئيلة جدا ما يسمى بالايدروجين الثقيل وهذا يحوى نيوترونا زائدا ( تتكون نواته من بروتون ونيوترون ) • وأغلب العناصر مكونة من مزيج من النظائر ؛ فاليورانيوم مثلا ذو الوزن الذرى ٢٣٨ أى ٩٢ بروتون + ١٤٦ نيوترون ، له نظير نادر ذو الوزن الذرى ٢٣٥ فقط ( ٩٢ بروتون + ١٤٣ نيوترون ) •

اذا تغير شيء فى تكوين أو شحنة نواة الذرة ( أى فى عدد البروتونات بها ) حصلنا على تحول للذرة وتغير للعنصر• وأولى الأمثلة لذلك التحول شوهدت فى المواد ذات النشاط

الاشعاعى الموجودة فى الطبيعة : اليورانيوم والثوريوم والراديوم .. ويحدث فى اليورانيوم أو الثوريوم تحول ذاتى بطىء الى عناصر أخرى فى سلسلة تنتهى بعنصر الرصاص المعروف من زمن بأنه غير مشع .

وقد أمكن اليوم جعل الجزء الأكبر من العناصر الكيموية عناصر ذات نشاط اشعاعى بطرق صناعية ، وكذلك أمكننا أن ننتج صناعيا عناصر غير موجودة فى الطبيعة ومد الترتيب الدورى للعناصر الى ما بعد عنصر اليورانيوم الذى كان يعتبر نهاية هذا الترتيب الدورى .

وكان العالم الانجليزى المشهور رثر فورد ( ١٩١٩ ) هو أول من أنتج عنصرا صناعيا فقد أطلق أشعة الفا ( وهى المكونة من نويات هليوم متحركة بسرعة ) من مستحضر ذو نشاط اشعاعى قوى خلال غاز النيتروجين فتحول بعض النيتروجين الى العنصر المجاور الأعلى وهو الأكسجين ( امتصت نواة النيتروجين نواة الهليوم وطردت بدلها بروتونا متحولة الى ذرة أكسجين ) وكان هذا هو أول تحول عنصر الى آخر صناعيا .

وفى سنة ١٩٣٢ تمكن شادويك من استخلاص النيوترون وامكان استخدامه . اذا استخدم النيوترون بدلا من نواة الهليوم فى تجربة وثرفورد السابقة امتص النتروجين النيوترون

متحولا الى « نظير » تتروجين غير ثابت • ويجب أن نذكر هنا أن النظير « غير الثابت » هو عنصر ذو نشاط اشعاعى •

كان جوليوت كورى وزوجه أول من أنتج عنصرا ذو نشاط اشعاعى صناعيا وذلك بعد ما اكتشف شادويك النيوترون بسنتين •

والعنصر ذو النشاط الاشعاعى يكتسب هذه الخاصية لأن نواته الغير ثابتة تشع كهربا ( الكترون ) ( الكهارب هى التى تكون السحابة المحيطة بالنواة وهى من الصغر بحيث يهمل وزنها بالنسبة الى وزن البروتون أو النيوترون ) فمثلا التروجين النظير ذو النشاط الاشعاعى يتحول الى أكسجين بأن يتحول أحد النيوترونات الى بروتون والكترون ، والأخير ينطلق من النواة كأشعة (بيتا ) •

عند استخدام النيوترونات فى التجارب السابقة لتحضير العناصر ذات النشاط الاشعاعى صناعيا باطلاقها على العنصر يجب أن نسترجع الى الذهن أن النواة تكون جزءا غاية فى الصغر بالنسبة الى الذرة ولذا كان من الواضح أن النيوترونات التى تصيب الهدف لا تعدو نسبة ضئيلة جدا اذا قورنت بتلك التى تخفق فى الاصابة • ولذا كان ما يمكن الحصول عليه من العناصر ذات النشاط الاشعاعى المحضرة كمية لا يمكن رؤيتها أو وزنها بل يمكن فقط الاستدلال عليها بوساطة أجهزة طبيعية حساسة للكهارب ( أشعة بيتا ) المنطلقة من نويات ذرات تلك العناصر •

## انقسام اليورانيوم

كان العالم الايطالى فرمى Fermi أول من استغل ميزة استخدام النيوترونات المتعادلة • فقد أطلق هذه على جميع عناصر الترتيب الدورى حتى العنصر الأعلى اليورانيوم وكذلك هنا وجد تحولا • وقد تأيد له فى هذا الوقت أن من اليورانيوم ذى الشحنة ٩٢ يتكون عنصر جديد أو أكثر من عنصر غير معروفة فى الطبيعة • وكانت هذه النتيجة الأخيرة موضع شك •

أعاد المؤلف بمعاونة الأستاذة مايتز Meitner ومتأخرا مع الدكتور شتراسمان Strassmann تجارب فرمى فأيدها وتوصل الى اكتشاف نظائر أخرى للعناصر •

وقد حصل على تقدم آخر ببناء مصادر صناعية للاشعاع وآلات الجهد العالى ، وأخيرا السيكلترون الذى نشأ وتطور فى أمريكا • وكل هذه تنتج اما بروتونات أو نويات هليوم ذات سرعة كبيرة وبكميات هائلة • ومن هذه أمكن أيضا الحصول على نيوترونات بكمية كبيرة • واستخدمت هذه المصادر فاكتشفت حتى نهاية ١٩٣٨ عدة مئات من التفاعلات النووية للذرات المختلفة •

والى ذلك الحين كان الأمر ما زال متعلقا بكميات ضئيلة لا يمكن رؤيتها أو وزنها بل أمكن فقط ملاحظة التفاعل

بوساطة أجهزة قياس طبيعية معينة تسمح بالاستدلال على تتائجه المشعة ، أى بطريقة معينة تجعله مرئيا .

ماذا يعنى هذا التفاعل النوويى الصناعى ، يمكن الاشارة الى ذلك بأن فى الأمثلة الكثيرة للتحولات المشاهدة للعناصر تكون تتائج التفاعل مجاورة مباشرة للعنصر . وهذه اما أن تكون نظائر للعنصر نفسه أو أن تكون عناصر لا تختلف عنه الا بوضع أو وضعين على الأكثر فى الترتيب الدورى للعناصر .

وقد توصلنا ، شتراسمان وأنا ، ضد رغبتنا فى خريف ١٩٣٨ الى نتيجة مخالفة لجميع آراء العالم الطبيعى فى هذا الوقت . فقد اكتشفنا أثناء اطلاق النيوترونات على عنصر اليورانيوم ، نظائر لعنصر الباريوم ؟؟ وهذا خلاف ماعتقدناه أنه عنصر فوق اليورانيوم . ولما كان عنصر الباريوم يأتى فى الوضع ٥٦ من الترتيب الدورى للعناصر واليورانيوم فى الوضع ٩٢ اعتقدنا اذ ذاك أن هناك خطأ من ناحيتنا على اعتبار أن حدوث تفتت تام لليورانيوم غير ممكن مطلقا . ولكن اعادة تجاربنا أيدت لنا هذا الكشف أى أن ذرة اليورانيوم تحطمت بتأثير النيوترونات الى جزئين متساويين تقريبا ، جزء منها هو عنصر الباريوم ..

مفاجأة جديدة غير متوقعة ! !

وسريعا أمكن تعيين الرفيق الآخر للانفجار : غاز

الكربتون الخامل • شحنتا النواة لهذين العنصرين ٥٦ ، ٣٦ يكونا العدد ٩٢ وهو شحنة نواة اليورانيوم •

وبسرعة أعيد العمل وأكدت نتائجه حسب طرق طبيعية فى معامل الطبيعة النووية فى أوربا وأمريكا بدهشة كبيرة • وبتتابع سريع اكتشف بوساطتنا وبوساطة باحثين آخرين كثير من التفاعلات الانقسامية المختلفة التى تنقسم فيها ذرة اليورانيوم الى ذرتين مجموع شحنتيهما دائما ٩٢ •

تمكن العالم الطبيعى ، أولا ليز مايتنر وفريش Frisch وكذلك جوليوت Joliot بمجرد نشرنا الأول من توضيح وكذلك تأكيد أن عمليات الانقسام هذه تكون مصحوبة بانبعاث طاقة أكبر بمليون مرة من طاقة احتراق كمية معادلة من الفحم •

## التفاعل المسلسل

كان اكتشاف جوليوت ومساعديه ( مستقلا عن البحاث الأمريكان ) ذا أهمية خاصة • وذلك أنه يصحب الانقسام النووى انطلاق عدة نيوترونات زائدة حرة • وقد أشرنا ، الدكتور شتراسمان وأنا ، قبل هذا بمدة قصيرة ، الى هذا الامكان ولكن لم نحققه عمليا • وتتعلق أهمية هذه النيوترونات الزائدة الحرة فى امكان استخدامها فى عملية انقسام جديدة • واذا أمكننا التحكم فى هذه النيوترونات

الزائدة الحرة فمنعنا انتشارها الى الخارج أو امتصاصها بنويات أخرى بل جعلناها تصيب ثانية ذرات يورانيوم آخرى ، ظهرت عندئذ انقسامات جديدة وتنتج نيوترونات زائدة تالية بالانقسامات المتتالية • اذا زادت هذه الانقسامات الى اللانهاية تكون ما يسمى بالتفاعل المسلسل • تزداد تبعا الطاقة الحرة النـاتجة عن كل انقسام وسنتكلم الآن عن امكان الانتفاع منها عمليا •

لم يكن هذا التفاعل المسلسل حتى ذلك الحين الا نظرية كان هناك طريق طويل لتحقيقها عمليا ولا يمكننا الا أن نشير الى أن هذا التفاعل أكثر تعقيدا مما قد يبدو • فبدون نظام خاص أو زيادة خاصة لا يمكن لليورانيوم الموجود فى الطبيعة أن يعطينا هذا التفاعل المسلسل أو تلك الطاقة الهائلة •

والسبب فى ذلك أن اليـورانيوم الموجود فى الطبيعـة يتكون من نظيرين مختلفين فى الوزن الذرى وفى تأثير النيوترونات عليها : اليورانيوم ذو الوزن الذرى ٢٣٨ والآخر الذى يكون فقط ٧ر٠٪ ذو الوزن الذرى ٢٣٥ •

النظير النادر ٢٣٥ هو المسئول الوحيـد عن عمليـة الانقسام • أما اليورانيوم ٢٣٨ ذو النسبة الكبيرة فيمتص النيوترون عندما يكون ذو سرعة معينة مكونا نظير صناعى لليورانيوم ذو الوزن الذرى ٢٣٩ • يتحول هذا النظير ذو شحنة النواة ٩٢ الى العنصر المجاور الأعلى أى ذو شـحنة

النواة ٩٣ وذلك باشعاع أشعة بيتا (كهرب سالب) • لم تتمكن فى هذا الوقت بوساطة منابع الاشعاع الضعيفة التى لدينا من البرهنة على وجود هذه المادة • وقد اكتشفت بعد ذلك فى أمريكا وسميت نبتونيوم •

وبذا نلاحظ أثناء اطلاق النيوترونات على اليورانيوم الموجود فى الطبيعة ( المزيج من اليورانيوم ٢٣٨ واليورانيوم ٢٣٥ ) عمليتين مختلفتين تمام الاختلاف•

أولا : انقسام اليورانيوم ٢٣٥ بوساطة النيوترونات البطيئة ، ويكون هذا بالتالى منبعا لنيوترونات جديدة وبذا يبدأ الانقسام المسلسل المصحوب باطلاق طاقة كبيرة •

ثانيا : امتصاص النيوترون ذى السرعة العالية نوعا باليورانيوم ٢٣٨ وذلك بدون اعطاء نيوترونات زائدة وبدون اطلاق طاقة خاصة •

العملية الأولى يمكن أن تؤدى الى تفاعل مساسل ، أما الثانية فلا •

هذان التفاعلان مبينان بالتفصيل فى شكلى ١ ، ٢ ومبين فى الشكل الأول ( انفجار اليورانيوم ٢٣٥ ) عدد قليل من الانقسامات الحادثة فى الواقع •

$^{235}_{92}$ يورانيوم + ابه ⟵ $^{141}_{56}$ باريوم + $^{92}_{36}$ كريبتون + عدة نيوترونات

أو $^{140}_{38}$ سترنتيوم + $^{93}_{54}$ زينون " "

أو $^{85}_{35}$ بروم + $^{147}_{57}$ لانثانوم " "

أو $^{97}_{42}$ موليبدنم + $^{137}_{50}$ قصدير " "

وكثير غيرها

مجموع العددين الدوريين يساوى دائما العدد الدورى لليورانيوم أى ٩٢

شكل ( ١ )

انقسام اليورانيوم ٢٣٥

$^{238}_{92}$ يورانيوم + ابه ⟵ (β، ٢٣ دقيقة) $^{239}_{93}$ نبتونيوم ⟵ (β، ٢٫٣ يوم) $^{239}_{94}$ بلوتونيوم ⟵ (α، ٢٤٠٠٠ سنة)

شكل ( ٢ )

امتصاص النيوترونات باليورانيوم ٢٣٨

وخلاصة ما يحدث هو أن النيوترونات المستخدمة تبدأ الانقسام باصابتها اليورانيوم ٢٣٥ مطلقة نيوترونات ذات سرعة كبيرة وهذه تنخفض سريعا نتيجة لتصادمها ولكن قبل أن تنخفض الى السرعة الحرارية ذات التأثير الخاص فى تتابع الانقسام باليورانيوم ٢٣٥ ، تمتص باليورانيوم ٢٣٨ عند ( سرعة الرنين ) وبذلك تعتبر ضائعة بالنسبة الى عملية الانقسام وهكذا يتوقف التفاعل المسلسل .

## حارق اليورانيوم

يمتص اليورانيوم ٢٣٨ الموجود بنسبة وافرة فى اليورانيوم العادى الموجود فى الطبيعة ، النيوترونات الناتجة من انقسام اليورانيوم ٢٣٥ الموجود بنسبة قليلة وذلك قبل أن تتمكن هذه من أن تؤثر فى نويات يورانيوم ٢٣٥ أخرى بالانقسام . لاعاقة هذا الامتصاص يخلط اليورانيوم بكميات كبيرة من مادة لها صفة تبطىء النيوترونات وليس لامتصاصها . مثل هذه المواد هى أولا الماء الثقيل أى الماء ذو نظير الايدروجين ذو الوزن الذرى ٢ وكذلك أيضا الجرافيت المطحون جيدا .

تنخفض طاقة النيوترونات السريعة الى ما تحت ( طاقة الرنين ) الحرجة التى يحدث عندها الامتصاص وذلك بوساطة الاصطدامات العديدة مع هذه العناصر ذات الوزن الذرى المنخفض وبذلك تصبح قادرة وتحت التصرف لانقسامات تالية .

تعمل احدى الآلات الملائمة لهذا الغرض كما يلى تقريبا : قضبان من اليورانيوم بها طبقات من المادة العائقة وتكون هذه مركبة تركيبا شبكيا بحيث تحاط كل طبقة من اليورانيوم بطبقة من المادة العائقة . تدخل النيوترونات المبطئة الموجودة فى المادة العائقة طبقات اليورانيوم المجاورة ونتيجة لسرعتها

الحرارية الصغيرة تمكنت من التأثير على اليورانيوم ٢٣٥ فتتوالى انقساماته بدلا من امتصاصها باليورانيوم ٢٣٨ وبذلك يبقى التفاعل مستمرا .

كانت أبحاث العلماء الطبيعيين فى أمريكا وألمانيا سنة ١٩٤٢ تقريبا متساوية فى الازدهار . قد علم بنوع أخص أيضا فى ألمانيا أنه يمكن التوصل الى منابع طاقة وحرارة تستخدم فى الأغراض السلمية وكذلك الى قنبلة ذات قوة تدمير هائلة . ولكن انتاج القنبلة كان ممكنا بنوع من الشك وللحصول على القنبلة يلزم فصل نظير اليورانيوم النادر ٢٣٥ من كمية كبيرة من اليورانيوم الطبيعى وذلك حتى يمكن استغلال جميع النيوترونات المتكونة من الانقسام فى تتابع يؤدى الى تفاعل مسلسل . وقد كان فصل كميات كبيرة من اليورانيوم ٢٣٥ النادر عن اليورانيوم ٢٣٨ الأكثر منه ١٤٠ مرة مستحيلا فى ألمانيا أثناء الحرب نتيجة لقلة الاستعدادات الفنية .

وظهرت طريقة أخرى للحصول على القنبلة . وذلك بعدما اكتشف أن النبتونيوم وهو الذى يتكون من امتصاص اليورانيوم ٢٣٨ للنيوترونات كما سبق ذكره ونواة ذرته تحتوى على ٩٣ بروتونا يتحول الى عنصر آخر أعلى تحتوى ذرته على ٩٤ بروتونا وذلك باطلاق أشعة بيتا ( الكترون سالب ) وقد سماه مكتشفوه الأمريكان « بلوتونيوم » .

هـذا البلوتونيوم ، ذو الوزن الذرى ٢٣٩ ، يتـكون باستمرار فى الحارق وهو مادة ثابتة تشع جسيمات ( الفا ) وتضمحل الى نصف قوتها فى ٢٤٠٠٠ سنة .

واذا وصلت الكمية المتجمعة من هذا العنصر الجديد الى بضعة كيلو جرامات أصـبح مادة مفرقعة يكفى لانفجـارها تعرضها للجو العادى . وهو فى ذلك يشابه اليورانيوم ٢٣٥ المنفصل عن اليورانيوم ٢٣٨

بينما اقتصرت أبحاث العلماء الألمان الطبيعيين أثناء الحرب على انشاء آلة لاستخدام طاقة انقسام اليورانيوم، انكب العلماء الأمريكان وركزوا كل جهودهم بما وضع تحت تصرفهم من استعدادات هائلة أنفق عليها أكثر من ٢٠٠٠ مليون دولار لأن ينتجوا قبل كل شىء القنبلة الذرية . وقد سلكوا فى ذلك الطريقين الموصلين للحصول على هذا الانفجار أى انتاج كمية وافرة من عنصر البلوتونيوم الجديد والحصول على نظـير اليورانيوم ٢٣٥ النادر من اليورانيوم الموجود فى الطبيعـة بكمية وافرة .

ولبيان عظم المشروعين ونفذا سنبحث كلا منها على حـدة .

## الحصول على البلوتونيوم

سبق أن ذكرنا أنه يمكن الحصول على البـلوتونيوم باطلاق النيوترونات على اليورانيوم ٢٣٨ الذى يتحول أولا

الى نبتونيوم ثم الى بلوتونيوم ويتم هذا التحويل بوساطة حارقات ضخمة •

ويجب أن يتوافر لهذه الحارقات تفاعل منتظم يمكن السيطرة عليه سيطرة تامة والا توقفت عملية الانقسام أو اندفعت الى الانفجار : فالنيوترونات الناتجة من الانقسام يصير ابطاؤها باستخدام الماء الثقيل أو ما يماثله فيتهيأ لها بهذا الابطاء توالى الانقسام ولكن يجب السيطرة عليها بحيث يستخدم نيوترون واحد فقط من النيوترونات الناتجة عن عملية الانقسام فى الانقسام التالى وهكذا ، أما باقى النيوترونات الزائدة فيجب أن يعمل على امتصاصها • ويجب الوصول الى هذا الوضع بمنتهى الدقة ، فان انطلاق عدد أكبر من النيوترونات يعنى اندفاع التفاعل الى الانفجار كما أن انطلاق عدد أقل يعنى توقف سلسلة التفاعل •

ولذلك يحتوى الحارق ، فى سبيل الأمان ، على قضبان من الكادميوم لها خاصية امتصاص النيوترونات الزائدة واشعاعها ثانية ولكن فى دقائق بدلا من جزء من الثانية • وبتنظيم هذه القضبان أمكن السيطرة على عدد النيوترونات الى الحد المطلوب •

ويلزم الحارق الكبير نحوا من ١٠ر٠٠٠ كيلو جراما من أنقى أنواع اليورانيوم وكمية أكبر من أنقى أنواع الجرافيت الذى يستعمل كما ذكرنا لابطاء النيوترونات • ويلزم الحارق

أيضا آلة خاصة لفصل البلوتونيوم الناتج كلما تجمع • وتكون ادارة آلة الفصل هذه بعيدة عن الحارق لتجنب خطر الاشعاعات المتولدة • ذلك أن اشعاع نتائج الانقسام الصناعية النشطة المتكونة باستمرار فى الحارق ذو قوة هائلة بحيث أنه لا يمكن للمرء أن يقترب من الآلة بدون تعريض حياته للخطر •

وتتعلق صعوبة الوقاية من خطر الاشعاع حول الحارق كذلك بأشعة جاما النافذة والنيوترونات التى تنبعث منه باستمرار • تحتاج أشعة جاما الى معدن ثقيل كالحديد أو الرصاص لامتصاصها ، أما النيوترونات فتحتاج لامتصاصها الى مواد أخف تحتوى على الايدروجين •

ويحتاج حارق متواضع ( حوالى متر مكعب ) حسب ما ذكر شادويك الى ١٠٠ طن من المواد الواقية • والآن ما هى الاستعدادات الواجب اتخاذها لأمان استخدام الحارق ؟

ذكر مصدر بريطانى هذه المعلومات عن الحارق المتواضع فى هارويل ( بالنسبة الى الحارقات الكبرى فى الولايات المتحدة ) •

١ — جهز البناء تجهيزا صحيا كاملا •

٢ — غرف لتغيير الملابس وأخذ حمام رشاش قبل وبعد الخروج من الأمكنة الحارة ( أى ذات الاشعاع القوى ) فى البناء •

٣ — توجد أمام كل معمل مكانس خاصة لتنظيف الأقدام ومجففات هواء ساخن للأيدى •

٤ — توجد بجميع الغرف أجهزة لاختبار الجسم والملابس تكشف عن تلوثها بمواد الاشعاع •

٥ — يوجد جهاز اختبار أوتوماتيكى يجب أن يمر به كل من يغادر البناء للتأكد من خلوه من مواد الاشعاع •

٦ — توجد فى ممرات البناء أبواب تفتح وتقفل من تلقاء نفسها بوساطة عيون كهروضوئية لتفادى خطر نشر التلوث باستعمال مقابضها •

٧ — ولما كانت الأتربة المتكونة فى الحارق ( نتائج الانقسام ) تحوى نشاطا اشعاعيا اتخذت الوسائل بتجديد الهواء بسرعة كبرى ٣٦٠ر٠٠٠ قدما مكعبا فى الدقيقة وبذلك يتبدل الهواء داخل البناء تبديلا تاما ١٢٠ مرة فى الدقيقة الواحدة •

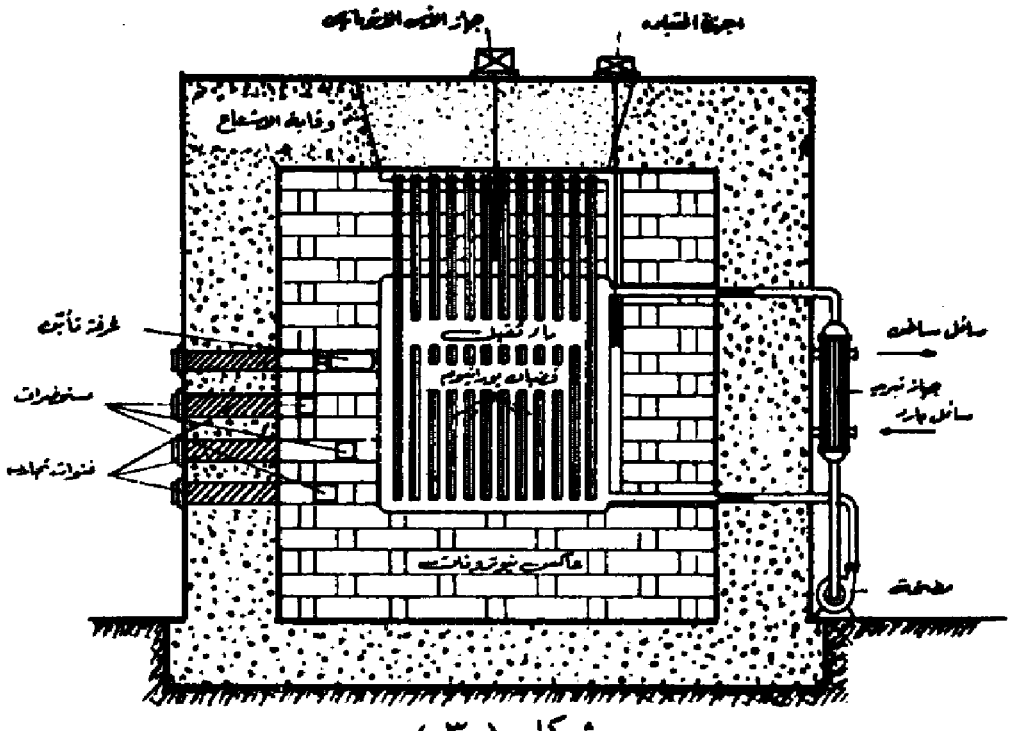
٨ — يرشح الهواء الخارج بوساطة أجهزة ترسيب معينة كما يرشح الماء المستعمل بأجهزة خاصة بحيث يصير عديم الضرر للأماكن المجاورة •

٩ — تستخدم غرف محاطة بالخراسانة خاصة بالمواد المستعملة العالية الاشعاع •

١٠ — يدار العمل فى الحارق بآلات وضعت فى أماكن بعيدة عزلت بحوائط من صفائح الرصاص •

وفى الواقع أن العمل الذى قام به العلمـاء الطبيعيون والكيميون الأمريكان والانجليز فى مدى سنوات قلائل فى أن يعينوا الخصائص الكيموية للعنصر الجديد البلوتونيوم من جزء من المليجرام منه يعد عملا ذا قيمة مدهشة • وقد ساعدتهم هذه المعلومات فى وضع التصميم الصحيح لبنـاء الأجهزة الضخمة للحصول على عدة كيلو جرامات من هـذه المادة التى تم تحضيرها فعلا •

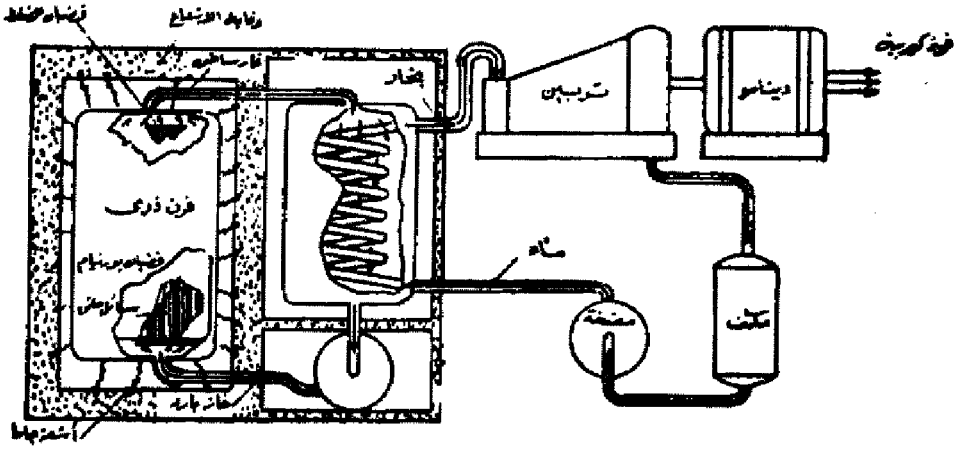
والبلوتونيوم ذو تأثير سام قوى على الجسم ولذا يجب اتخاذ احتياطات خاصة أثناء تداوله اما خطورته الاشعاعية التى تنجم عن انبعـاث أشعة ( الفـا ) فهينة خصوصا اذا كان بكميات غير كبيرة وذلك لأنها تمتص تماما بقطعة من الورق السميك أو صفائح معدنية رقيقة •



شكل ( ٣ )

يبين شكل ٣ الحارق الفرنسى الذى أقيم فى شاتيلون سنة ١٩٤٨ والمسمى ( زوى ) • وفيه استخدم الماء الثقيل لتخفيض سرعة ( اعاقة ) النيوترونات الناتجة عن عملية الانقسام •ووضعت قضبان الكادميوم ، الماء ( فى الشكل سوداء تامة ) بحيث يمكن رفعها وغمسها فى الماء لضبط عدد النيوترونات اللازمة لعملية الانقسام المسيطر عليها • يرى فى الجهة اليسرى من الشكل قنوات لآلات القياس ولادخال العنصر المشع •

وهذا الحارق صغير جدا للحصول على البلوتونيوم بكميات قابلة للوزن ويستخدم فقط لانتاج عناصر ذات نشاط اشعاعى صناعية سوف تتكلم عنها فيما بعد • وقد تعمد الفرنسيون فى اعطاء أبعاد خاطئة لهذا الحارق كما يرى فى الشكل •



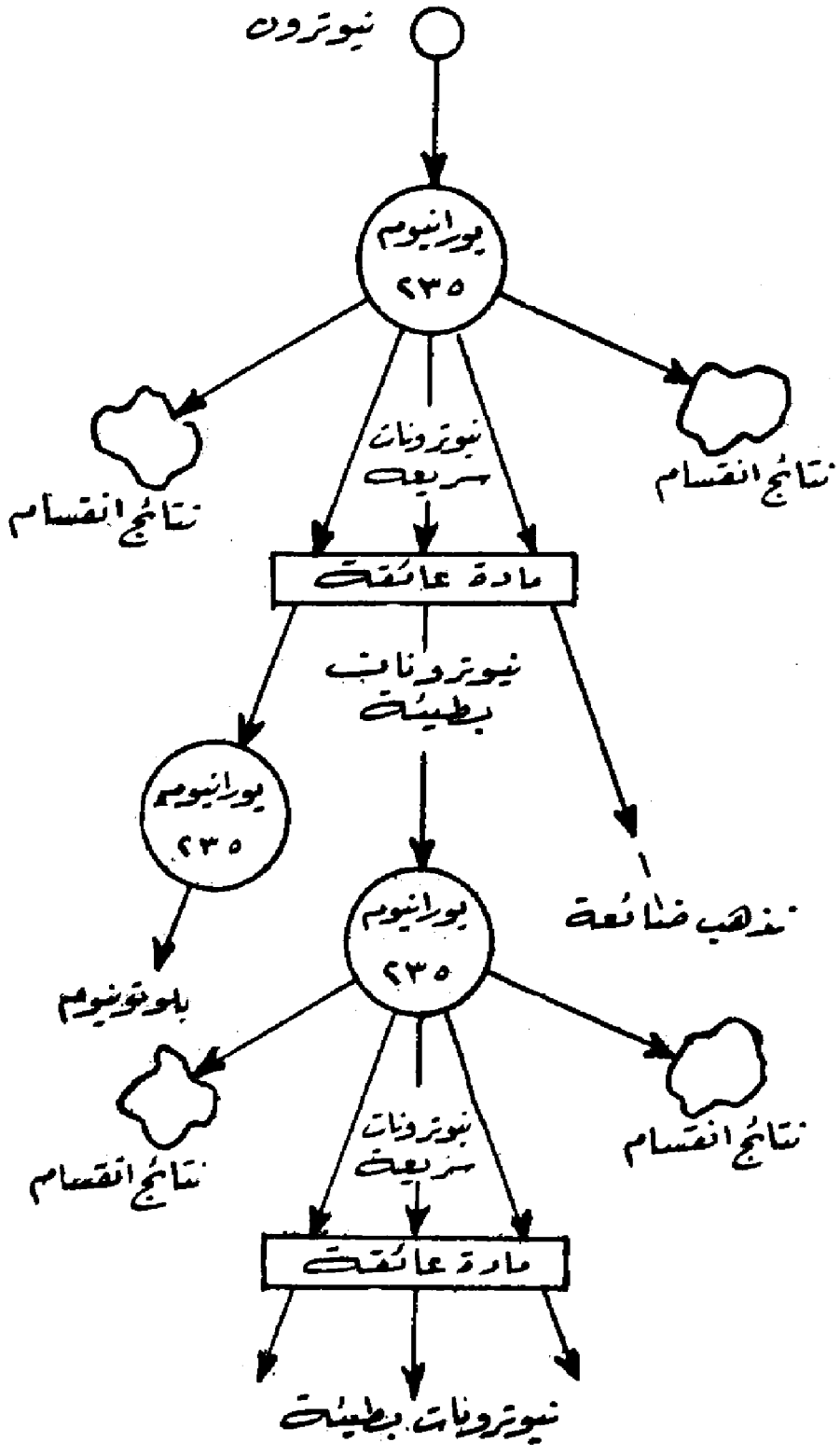
شكل ( ٤ )

ويبين شكل ٤ آلة تجربة أمريكية تستخدم الجرافيت بدل الماء الثقيل • أما الآلة الحقيقية الكثيرة التعقيد بجميع أجهزة الأمن الأتوماتيكية فلم تنشر طبعا بعد • ويشير الشكل الى امكان الانتفاع بالحرارة المتولدة بتحويلها الى تيار كهربائى مستقبلا •

ويبين شكل ٥ تفاصيل التفاعل المسلسل المسيطر عليه فى حارق اليورانيوم • يجب أن يتصور الشخص استطالة هذا الشكل ( لكن ليس زيادته فى العرض ) الى ما لا نهاية •

وبينما اليورانيوم الطبيعى وهو مزيج اليورانيوم ٢٣٥ واليورانيوم ٢٣٨ يخضع فى الحارق لسيطرتنا بواسطة استخدام قضبان الكادميوم التى نستطيع بها أن نوقف التفاعل المسلسل اذا ما ازدادت نسبة النيوترونات الحرة الى حد يهدد بالانفجار . نجد أن البلوتونيوم الذى تفصله من الحارق يصبح من تلقاء نفسه مادة متفجرة اذا زادت كتلته عن كمية معينة • فاذا ما وصل المتجمع منه الى هذه الكمية الحرجة تكفى بضعة النيوترونات السابحة فى الجو لأن تكون الشرارة الأولى لتفاعل مسلسل غير مسيطر عليه يؤدى حتما الى الانفجار •

وهذه الكمية الحرجة نصل اليها عندما تبدأ كفة النيوترونات المتبقية بالمادة فى الرجحان عن تلك التى تفقد فى




التفاعل المسلسل في عاز اليورانيوم

شكل ( ٥ )

الخارج[1] وهذه الدرجة الحرجة تبلغ من الحساسية بحيث أن أقل زيادة مهما كانت تافهة تؤدى الى الانفجار .

وحتى الآن لم يذع سر الكمية الحرجة والرأى أنها تتراوح بين ١٠ ، ٣٠ كيلو جراما ويمكن اذا قسمت كتلة من البلوتونيوم تزيد قليلا عن الكمية الحرجة الى نصفى كرة ووضع النصفان فى ماسورة أن يكون لدينا ( قنبلة ذرية ) نستطيع تفجيرها اذا قربنا النصفين الى بعضهما . وقد لوحظ أن هذا الانفجار يكون أشد تأثيرا كلما ازدادت السرعة التى يقرب بها النصفان . فالتقريب البطىء يؤدى الى تطاير جزء كبير من البلوتونيوم نتيجة الحرارة الهائلة المنبعثة قبل أن يتم الانقسام النهائى .

---

(١) نسبة النيوترونات التى تبقى داخل كتلة ما الى تلك التى تفقد من السطح تزداد كلما كبرت الكتلة فلو فرضنا ان هناك ١٠ نيوترونات فى سم٢ من الكتلة وان كل سم٢ من سطح الكتلة يفقد نيوترونا واعتبرنا المكعبات ذات الاضلاع ١، ٢، ٣ سم على الترتيب لكان :

١ ـ الكتلة ذات الحجم ١ سم٢ تفقد ٦ × ١ = ٦ نيوترونات
ويتبقى ١٠ ـ ٦ = ٤ أى بنسبة ٤٠ ٪

٢ ـ الكتلة ذات الحجم ٨ سم٢ تفقد ٦ × ٤ = ٢٤ نيوترونا
ويتبقى ٨٠ ـ ٢٤ = ٥٦ أى بنسبة ٧٠٪

٣ ـ الكتلة ذات الحجم ٢٧ سم٢ تفقد ٦ × ٩ = ٥٤ نيوترونا
ويتبقى ٢٧٠ ـ ٥٤ = ٢١٦ أى بنسبة ٨٠٪

## فصل اليورانيوم ٢٣٥

لا يحتاج هنا الى حارق ولا يوجد خطر اشعاع خاص أثناء الفصل • فالعمليات المستعملة لفصل هذا اليورانيوم النادر من اليورانيوم ٢٣٨ المماثل له فى الخواص الكيموية ، عمليات طبيعية بحتة ( فصل النظائر ) • وبسبب فرق الوزن البسيط ٢٣٥ الى ٢٣٨ كانت العملية بالنسبة لليورانيوم صعبة باهظة التكاليف بجميع الطرق المعروفة حتى الآن •

وأهم الطرق المستعملة للفصل :

١ — الفصل بالانتشار الغازى : وفى هذه الحالة استلزم ٥٠٠٠ خطوة من خطوات الفصل للحصول على يورانيوم ٢٣٥ نقى مما استدعى عمل آلاف المضخات وعدة كيلو مترات من حوائط الفصل •

٢ — الفصل الكهرومغناطيسى فى السبكتروسكوب الكتلى : وهذه استدعت بناء آلات ضخمة ( كالترون ) وحتى اندلاع الحرب الأخيرة كانت كمية اليورانيوم ٢٣٥ النقى التى حصل عليها بأكبر الآلات لا تعدو جزءا من المليجرام !! فى حين كان من اللازم الحصول على عدة كيلو جرامات •

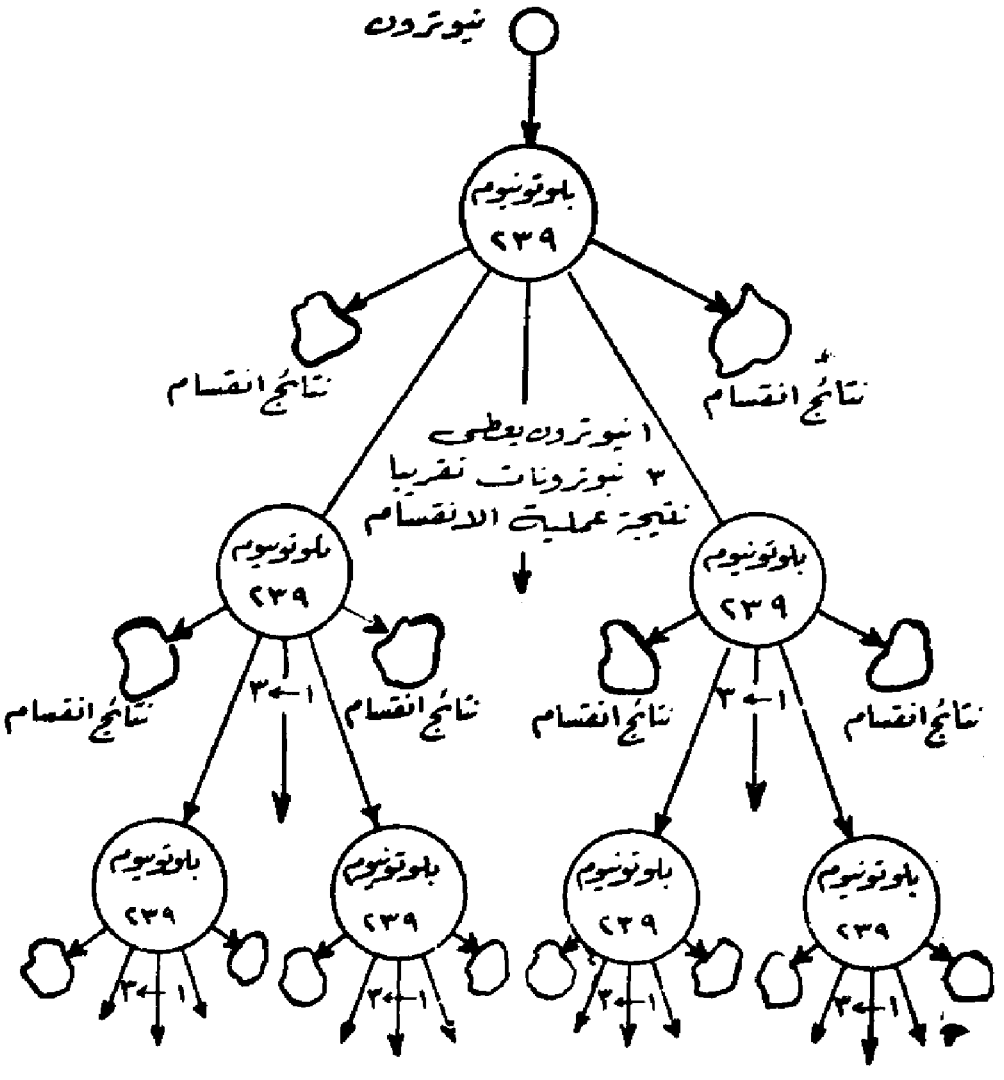
قد كان من الضرورى عمل كميات ضخمة من أسلاك النحاس كى تلف حول المغناطيس الكبير الذى ينحرف تحت تأثير مجاله النظيران ٢٣٥ ، ٢٣٨ انحرافا مختلفا يمكن من

فصلهما • ولما كانت الكمية الموجودة من النحاس فى أمريكا لا تكفى استعيض عنه بموصل جيد آخر للكهربا هو الفضة فوضع تحت التصرف ٢٧ مليون رطل فضة قيمتها ٤٠٠ مليون دولار وقد بلغ طول الملف السلكى الفضى ١٤٤٠ كيلو متر •

واليورانيوم ٢٣٥ له نفس خواص البلوتونيوم أى أنه بالامكان تفجيره من تلقاء نفسه متى زادت كميته عن « كمية حرجة » وذلك بتعرضه للجو العادى فتبدأ بعض النيوترونات السابحة فى الهواء عملية « الانقسام المسلسل » غير المسيطر عليه الذى يؤدى حتما الى الانفجار ويبين شكل ٦ تفصيل ما يحدث فى مثل هذا التفاعل • يجب أن يزداد هذا الشكل ليس فقط فى الطول بل أيضا فى العرض الى ما لا نهاية •

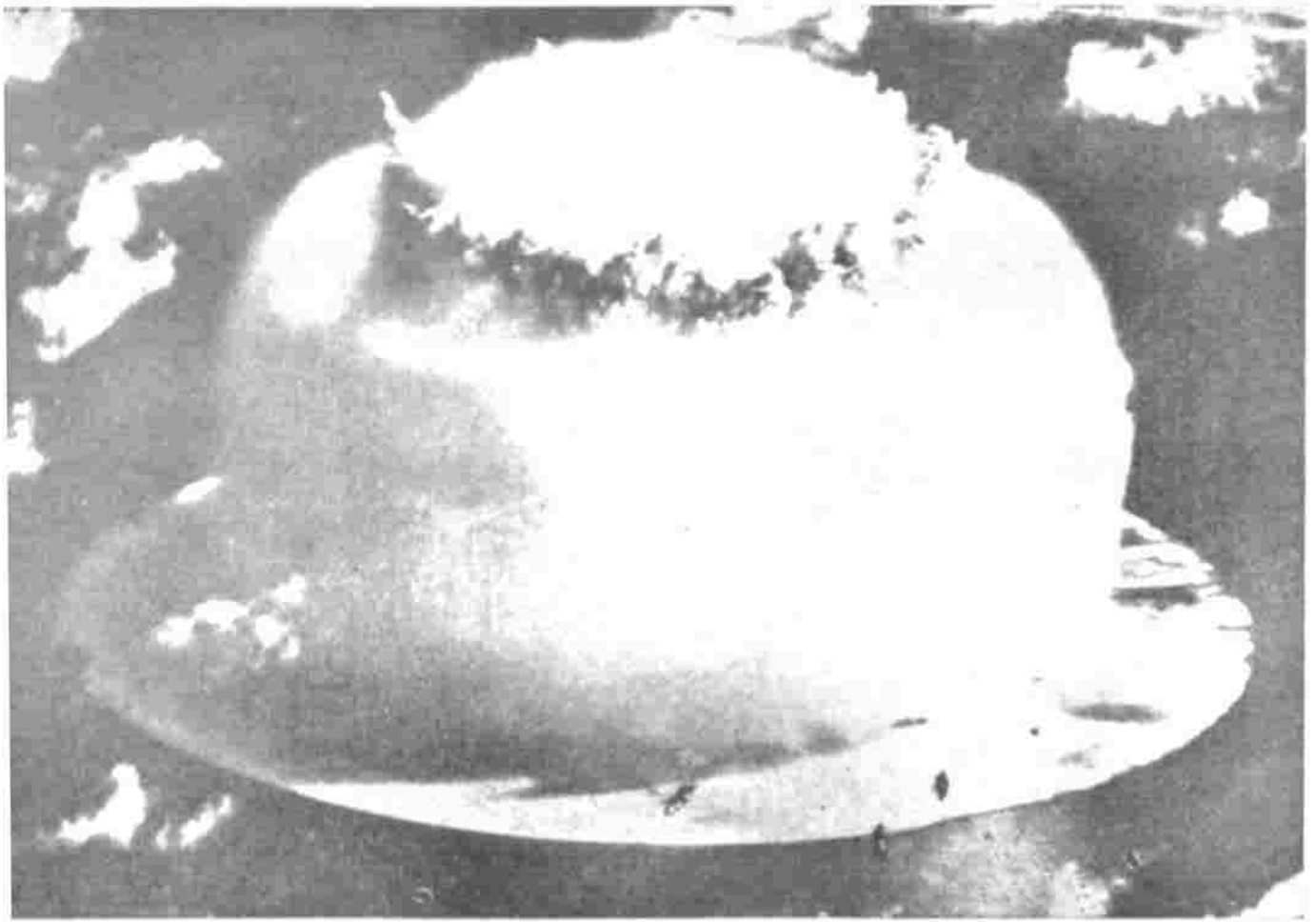
تبين الصور ٢ ، ٣ ، ٤ تجارب القنبلة الذرية التى أجريت فى جزر بيكينى فى المحيط الهادى سنة ١٩٤٦ فالصورة ٢ تبين انفجارا فوق الماء وبه سحابة الدخان عند ارتفاع ٢٠٠٠٠ متر والصورة ٣ تبين انفجارا تحت سطح الماء •

ويمكن تصور مدى الانفجار اذا علمنا كما أخبرنا مرافق لهذه التجارب أن حوالى ٢ مليون طن من الماء قذف بها فى عمود قطره ٦٠٠ متر وبارتفاع كيلومترين تقريبا •

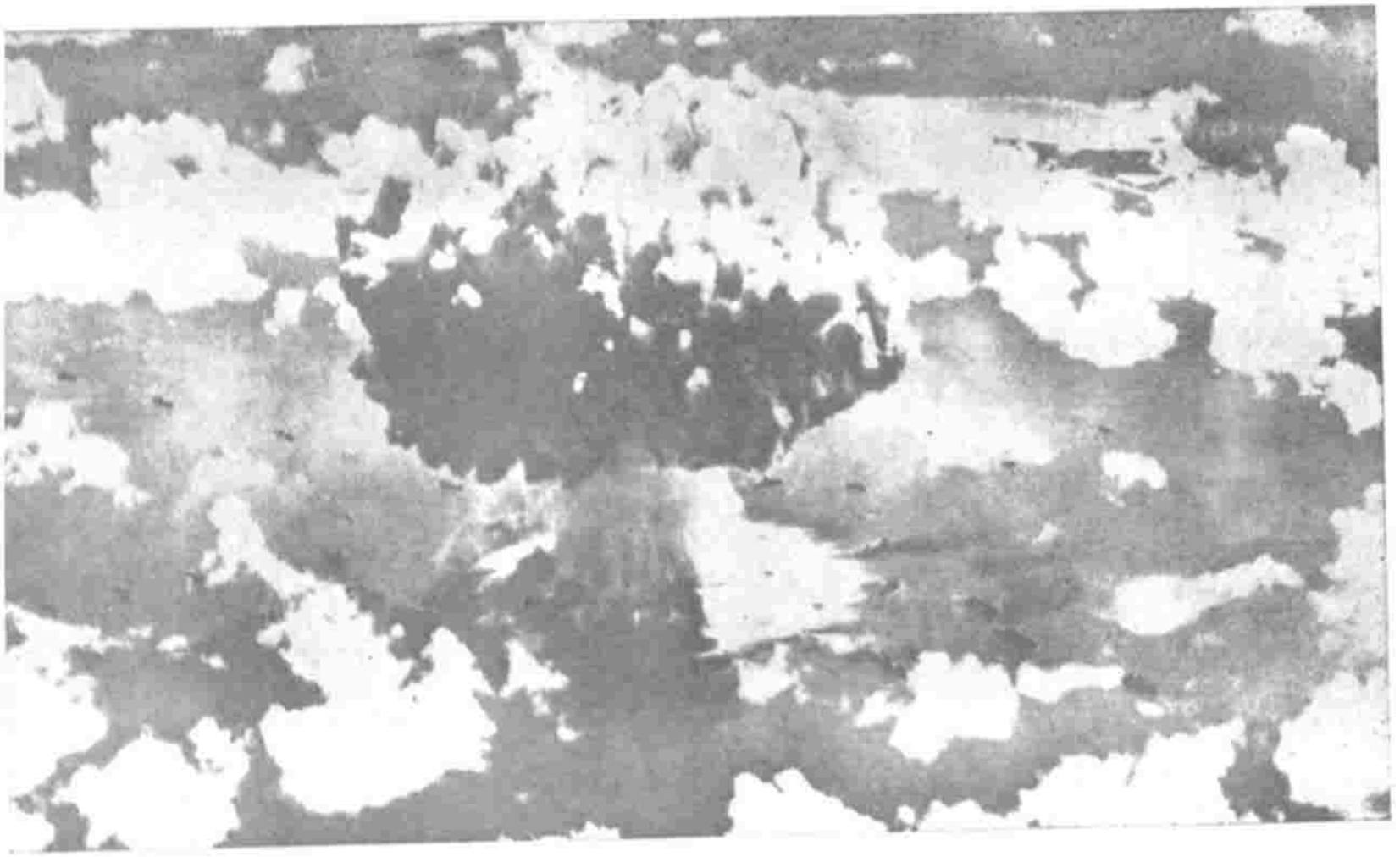



التفاعل المسلسل الانفجارى
فى القنبلة الذرية

شكل ( ٦ )

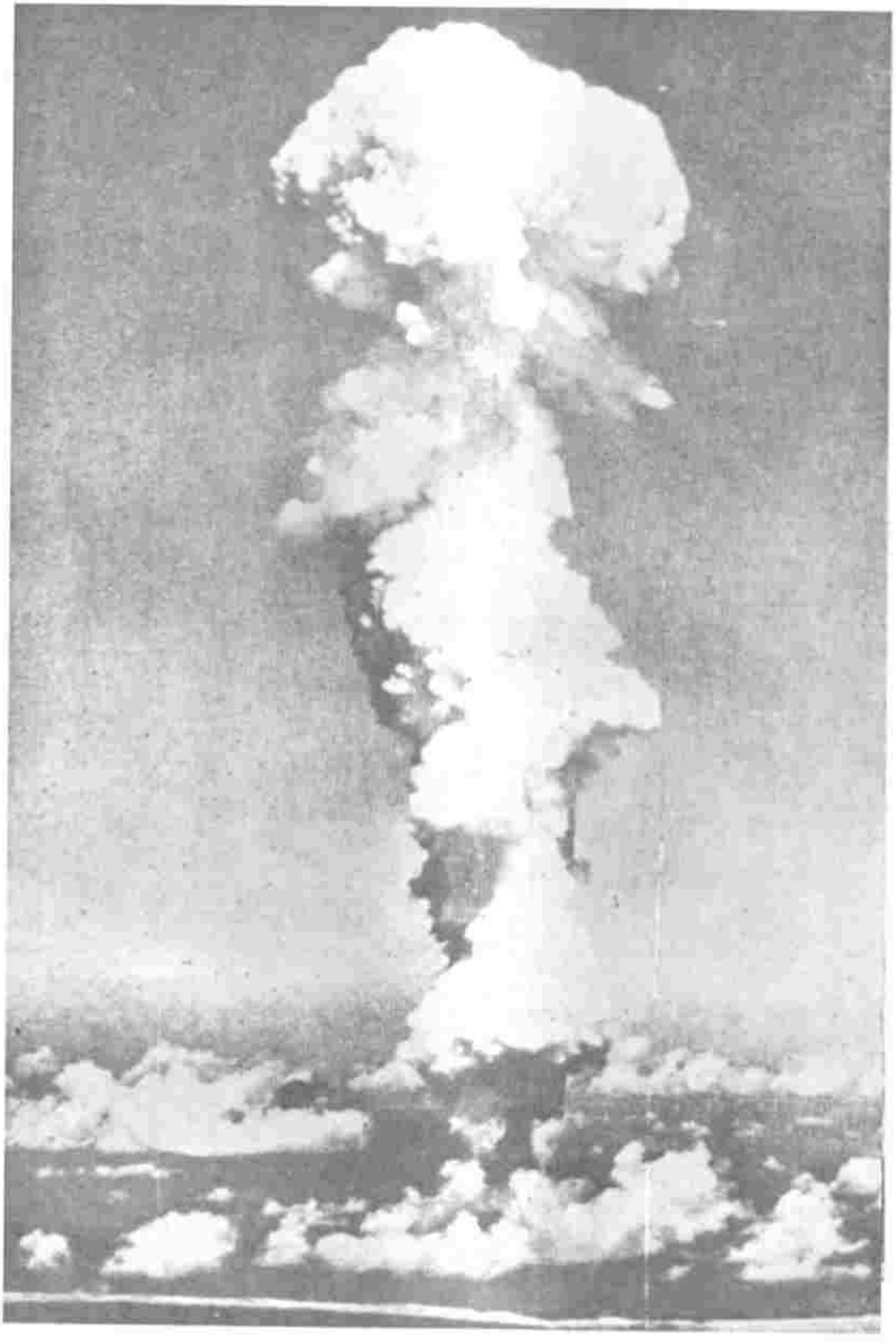


صورة «٢»
بيكينى : التجربة تحت سطح الماء . بعد الانفجار مباشرة



**صورة «(٣)»**

بيكينى : التجربة تحت سطح الماء . بعد الانفجار بفترة قصيرة



صورة «٤»
جزائر بيكيني : انفجار فوق الماء

## قنبلة الايدروجين

اذا رجعنا بالذاكرة الى أثر القنبلة الذرية التى ألقيت على هيروشيما وتلك التى أصابت نجازاكى فى أغسطس سنة١٩٤٥ أو لو راجعنا الصور ٢ ، ٣ ، ٤ للتجارب الذرية التى أجريت فى بيكينى سنة ١٩٤٦ لغلبنا الظن بأن الانسان قد توصل الى استخدام الطاقة الذرية للأغراض التدميرية بصورة تكفى لئلا يتطلع الى ما قد يفوقها قوة وارهابا • ولكن واقع الحال قد بدد هذه الظنون • فقد أمر الرئيس ترومان ببنـاء وانشاء القنبلة الايدروجينية رسميا وذلك لخلق وسيلة ضغط جديدة لاستتباب السلم العـالمى • والآن ماذا يعـنى بالقنبلـة الايدروجينية ؟

هناك أحداث مشابهة تحدث فى الشمس حيث يتكون غاز الهليوم من الايدروجين ببطء وبوجود الفحم كعامل مساعد ، وفى درجة حرارة يجب أن تبلغ ٢٠ مليون مئوية • يحـدث هذا التركيب كما ذكرنا ببطء فلا يؤدى الى الانفجار • وهو يجرى فى الشمس منذ آلاف الملايين من السنين فيهيىء لها احتفاظها بدرجة حرارتها التى هى مصدر الحياة لأرضنا •

فتكون الهليـوم من الايدروجين الخفيف هـو أساس القنبلة الايدروجينية فهـو بذلك يختلف تماما عن قنبـلة اليورانيوم التى تعتمد على تحطيم عنصر اليـورانيوم الى عناصر خفيفة •

وللأسف لا يمكننا أن نقلد هذا التركيب النوىّ البطىء الذى يحدث فى باطن الشمس فلسنا نعرف من مادة تستطيع أن تقاوم درجة حرارة ٢٠ مليون مئوية اللازمة ولا الضغط الهائل المماثل وكل ما باستطاعتنا تحقيقه هو الحصول على تفاعل يشابه ذلك الاحتراق الطبيعى الذى يحدث داخل الشمس ولكنه يختلف عنه بأنه ليس بطيئا بل على شكل انفجار لا يمكن السيطرة عليه .

بجانب الايدروجين العادى ذو الوزن ١ يوجد بكميات ضئيلة ايدروجين ثقيل ذو الوزن الذرى ٢ (ويسمى ديتوريوم) . وبامكاننا أن ننتج من ذرتين من هذا الايدروجين الثقيل ايدروجين ذا وزن ذرى ٣ (ويسمى تريتيوم) حسب المعادلة .

$$_{1}د^{2} + _{1}د^{2} = _{1}د^{3} + _{1}د^{1}$$

( العدد العلوى يرمز الى الوزن الذرى للنواة والسفلى يرمز الى شحنة النواة أو عدد البروتونات بها ) وقد أمكن حديثا الحصول على كميات كبيرة من التريتيوم فى الحارقات الأمريكية الكبرى ومن هذا التريتيوم يكون التفاعل :

$$_{1}د^{3} + _{1}د^{3} = _{2}هى^{4} + ٢ \text{ ( نيوترون )}$$

أى أنه يعطينا نواة هليوم ($_{2}هى^{4}$) ونيوترونين . وهذا التفاعل لا يحدث الا فى درجة حرارة ٢٠ مليون مئوية ويكون مصحوبا بانطلاق طاقة هائلة واذا بدأ استمر غير مقيد مؤديا الى الانفجار . أى أننا اذا رفعنا درجة حرارة التريتيوم الى الحد اللازم حدث الاحتراق الانفجارى الذى يتكون أثناءه

الهليوم • وهذه الدرجة العالية من الحرارة توجد داخل قنبلة اليورانيوم •

أى انه أصبح بالامكان تفجير التريتيوم بواسطة قنبلة اليورانيوم وبذلك تزداد قوة الانفجار عدة مرات •

ومثل هذا الانفجار المشترك يعنى القنبلة الايدروجينية التى يمكن تشبيهها بحافظة مليئة بالتريتيوم تفجر بوساطة قنبلة يورانيوم تؤثر كعود الثقاب •

# استخدام الطاقة النووية مستقبلا

## فى آلات القـــوى والحرارة

أخوف أم أمل ؟ أتدمير أم تعمير ؟ ذلك هو السؤال الذى يتبادله الناس الآن • ومن الطبيـعى أن يسيطر الخوف من المستقبل وقد علم المرء الشىء الكثير عن استخدام هذه القوة الرهيبة فى أغراض التدمير وما سمع الا قليلا عن استغلالها فى التعمير والانشاء •

ان بالامكان الانتفاع بهذه الطاقة فى توليد تيار حرارى أو كهربى ، كما أصبح من الممكن أن نحصـل صناعيا على جميع العناصر الكيموية تقريبا فى صورة عنصر مشع • وهذه العناصر المشعة لها مجالها الواسع فى الأبحاث الطبية والفنية وعلم الحياة •

وسنتحدث أولا عن الانتفاع من الطاقة :

لقد سبق أن ذكرنا أن الطاقة المنبعثة من الانقسام الذرى تزيد عن مليون مرة لأقوى تفاعل كيمائى والآن نشرح ذلك بحساب الأرقام •

تسمى الطاقة التى يكتسبها الكترون بتحركه خلال فرق جهد ١ فولت بالكترون فولت ويرمز لها شج ولما كانت هـذه الطاقة صغيرة جدا أخذت الوحدة مليونا منها وعبر عنهـا

مشج • وهذه الوحدة مشج تماثل ١٫٦ × ١٠ $^{١٣}$ وات ثانية وموضحة بالكميات الحرارية = ٣٫٨ × ١٠ $^{-١٧}$ كيلو سعر والطاقة المتولدة من انقسام ذرة اليورانيوم ٢٣٥ أو البلوتونيوم تعادل ٢٠٠ مشج تقريبا • ولما كان الكيلوجرام من تلك المادة يحوى ٢٫٥ × ١٠ $^{٢٤}$ ذرة انطلقت أثناء احتراقها المسيطر عليه أو انفجارها غير المسيطر عليه طاقة تساوى ٢٠٠ × ٢٫٥ × ١٠ $^{٢٤}$ = ٥ × ١٠ $^{٢٦}$ مشج.

وحيث أن ١ مشج = ٣٫٨ × ١٠ $^{-١٧}$ كيلو سعر تكون الحرارة المنبعثة من تدمير تام لكيلو جرام بلوتونيوم أو يورانيوم ٢٣٥ حوالى ٢٠ × ١٠ $^{٩}$ كيلو سعر أو ٢٫٣ × ١٠ $^{٧}$ كيلو وات ساعة ( عشرين ألف مليون كيلو سعر ٠٠٠ ) •

ولما كانت القيمة الحرارية لفحم جيد تبلغ ٨٠٠ كيلو سعر لكل كيلو جرام أصبح من الواضح أن الطاقة الناتجة من تدمير كيلو جرام من البلوتونيوم أو اليورانيوم ٢٣٥ أكبر بمقدار $\frac{٢٠ \times ١٠^{٩}}{٨٠٠٠}$ أى ٢٫٥ مليون مرة مما يعطيه كيلو مماثل من أجود أنواع الفحم •

ويمكنا أن ندرك أى منبع هائل للحرارة يمثلها حارق اليورانيوم • وفعلا كانت مسألة ضبط حرارة التفاعل مشكلة عويصة حتى فى الحارقات الصغيرة •

وفى الحارق الأمريكى فى هانفورد بشمال غرب الولايات المتحدة ( الذى أنتج البلوتونيوم الذى صنع منه القنبلة التى

ألقيت على نجازاكى سنة ١٩٤٥ ) يجب ألا تتعدى درجة الحرارة به ١٠٠ مئوية وللتخلص من كميات الحرارة الهائلة استخدم نهر كولومبيا للتبريد فكانت كميـة الحرارة التى تكتسبها مياهه باستمرار كافية لتدفئة مدينة يبلغ عدد سكانها ٥٠٫٠٠٠ نسمة ٠

والآن ما هى الصعوبات التى تقف فى طريق استخدام هذه الطاقة فى توليد الكهربا ؟

ان درجة الحرارة اللازمة لتحويل هذه الطاقة تتراوح بين ٦٠٠ ، ٨٠٠ مئوية ولما كان اليورانيوم المستخدم يغطى بطبقات من الألومنيوم لفصله عن الجرافيت وكانت درجة انصهار الألومونيوم ٣٥٠ مئوية فقط اتضحت الصـعوبة الأولى التى يجب أن تتغلب عليها ٠

كمـا أنه يجب أن نعلم أن نتـائج الانقسام ( الرماد ) المتكونة فى الحارق لها قوة اشعاع تعادل مليـون مرة قوة اشعاع الراديوم وهذا يعنى احاطة الحارق بحواجز الوقاية المعترف بها ٠ ويجب أن تنظف قضبان اليورانيوم مما يتكون فيها من رماد أو تغيـيرها والا توقف التفـاعل الانقسامى وبالتالى عمل الحارق ٠

وعندما تتمكن من التغلب على هذه الصعوبات يصبح الحارق الذى يحوى ١٠٠ كيلو جرام يورانيوم وكمية معادلة

من الجرافيت مماثلا فى قوته لمحطة توليد كهربا قدرتها ١٠٠ر٠٠٠ كيلو وات • ونستطيع استخدام هذا المصدر الضخم للقوى عدة سنوات دون الاحتياج الى اضافة أى موقد جديدة • وفى مثل هذا الحارق يحترق ١٠٠ جم يورانيوم ٢٣٥ يوميا • ويتكون فى نفس الوقت كمية مماثلة من البلوتونيوم • والطاقة الهائلة المنبعثة من احتراق هذه الكمية لا تمثل سوى ١ر٠٪ من وزنها أما الباقى فيتحول الى نتائج انقسام مشعة ( رماد ) تماثل قوة اشعاعة مائة طن من عنصر الراديوم •

ومن الملاحظ أنه يمكن للبلوتونيوم المتكون من اليورانيوم ٢٣٨ أن يحل محل اليورانيوم ٢٣٥ المحترق وبذا تعوض آلة القوة مادة احتراقها من تلقاء نفسها وهذا ينتهى فقط عندما يستهلك أيضا جميع اليورانيوم ٢٣٨ الموجود بنسبة كبيرة •

ومن الناحية العملية قد يكون من الممكن استخدام الآلات الذرية فى المناطق التى لا يوجد بها فحم أو بترول ( المناطق القطبية والصحارى ) كما يمكن التفكير باستخدامها فى تسيير عابرات المحيط والسفن الحربية أما السفن الصغيرة والطائرات والعربات فيستحيل تسييرها بالطاقة الذرية نتيجة لخطر الاشعاع الذى يستلزم حوافظ ضخمة واقية •

وقد أصبح معروفا أن الولايات المتحدة تستعد الآن لبناء أولى محطات توليد الكهربا من الطاقة الذرية ولو أنه لم

تنشر بعد الوسائل التى ستمكن من التغلب على صعوبات التحويل الاقتصادى للحرارة الى تيار كهربائى • وحتى لو استخدمت الحرارة رأسا بدلا من تحويلها الى تيار كهربائى فأمامنا عدة سنوات قبل أن تستطيع محطات القوى الذرية منافسة محطات الفحم أو البترول •

ويعنى كل ذلك الآن أننا لن نستطيع فى المستقبل القريب الاستفادة من القوى الذرية سوى الحصول على أسلحة مهلكة •

## استخدام العناصر ذات النشاط الاشعاعى

### الصناعية الناتجة من تفتت النويات

بينما تنتج الحارقات الضخمة لليورانيوم الموجودة فى الولايات المتحدة وربما فى روسيا عنصر البلوتونيوم بكميات هائلة تعد بالكيلو جرامات ، لا تنتج الحارقات الصغيرة فى الدول الأخرى الا ملليجرامات أو جرامات من هذا العنصر المتفجر • ومع كل فهى تعطينا عدة عناصر صناعية ذات نشاط اشعاعى كما أنها فى نفس الوقت تكون منبعا هاما للنيوترونات •

ويزداد باطراد استخدام هذه العناصر ذات النشاط الاشعاعى الصناعية فى فروع الطب والكيمياء وفن المعادن • وهذه العناصر يمكن الاستدلال عليها باشعاعها مهما بلغت ضآلة كميتها وهذا ما رفع من قيمتها كمواد كاشفة بالغة الحساسية •

والحارقات الصغيرة يمكن تشغيلها كالكبيرة باليورانيوم والجرافيت النقى ( كالآلتين الانجليزيتين « جليب » Gleep و « بيبو » Bepo ومعظم الآلات الأمريكية ) • كما يمكن فيها استخدام الماء الثقيل الأكثر ملاءمة من الجرافيت فى ابطاء سرعة النيوترونات مما يساعد على تصغير الأبعاد اللازمة للحارق •

ولكن الماء الثقيل فاحش الثمن كما أنه غير متوافر بكميات كافية فى مناطق مختلفة ، ( يستخدم الماء الثقيل فى آلة « زوى » Zoé المنشأة بفرنسا ١٩٤٨ ( انظر شكل ٣ ) وحارق « زيب » Zeep بنهر تشوك بكندا كما كان يستخدم بالحارق الذى كان بألمانيا أثناء الحرب الأخيرة ) .

وهذه الحارقات الصغيرة ، علاوة على قلة كلفتها نسبيا وقلة خطورتها ، تعد منابع مثالية لانتاج عدد كبير من العناصر ذات النشاط الاشعاعى الصناعية . وهذه اما أن تكون :

أولا : نتائج الانقسام نفسها .

ثانيا : عناصر أخرى يمكن جعلها « نشطة » بتعريضها للنيوترونات المنبعثة من الحارق وذلك بوضعها فى قنوات خاصة داخل أو خارج الحارق ( انظر شكل ٣ ) .

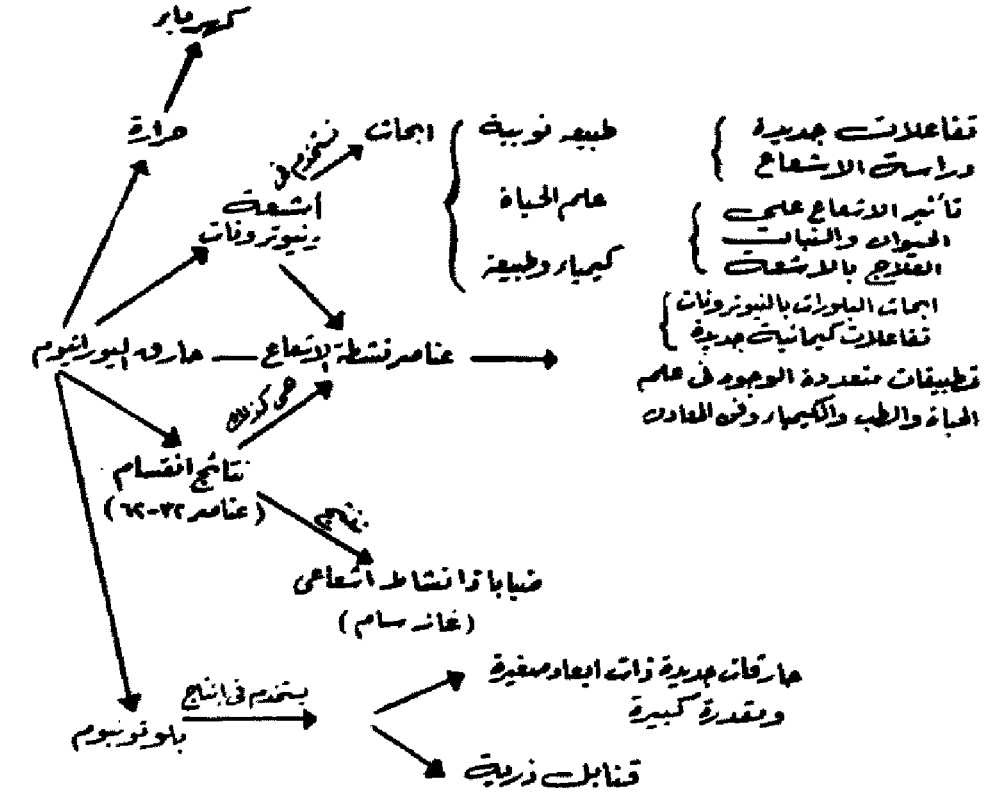
فاذا أدخلنا صفيحة رقيقة من اليورانيوم أو جزءا من مسحوقه فى احدى هذه القنوات بالحارق تم الانقسام بواسطة النيوترونات وحصلنا على نتائج الانقسام المتعددة ( كان هذا هو العمل الرئيسى لمعهد القيصر ولهلم للكيميا الذى كان يديره المؤلف أثناء الحرب الأخيرة ) التى وصل عددها الى أكثر من ١٠٠ عنصر نشط فى سنة ١٩٤٤ .. كما أصدر الأمريكان بمعاونة الكنديين والبريطانيين ، كشفا أكبر قليلا عام ١٩٤٦ عن نتائج الانقسام فى حارقاتهم التى زادت قوتها أكثر من ألف مرة عن حارقتنا .

وتختلف العناصر النشطة التى نحصل عليها تبعا للمدة التى عرضت فيها صفيحة اليورانيوم فاذا كانت قصيرة حصلنا على عناصر ذات نشاط اشعاعى قوى جدا ولكنها قصيرة العمر اذ تضمحل بسرعة • أما اذا عرضت صفائح اليورانيوم مدة طويلة حصلنا على جانب تلك العناصر القصيرة العمر على عناصر ذات نشاط اشعاعى ثابت عمليا • وهكذا تستطيع سنتيمترات قليلة اذا عرضت لمدة كافية فى الحارق أن تفوق فى قوتها الاشعاعية الدائمة مائة جرام من الراديوم •

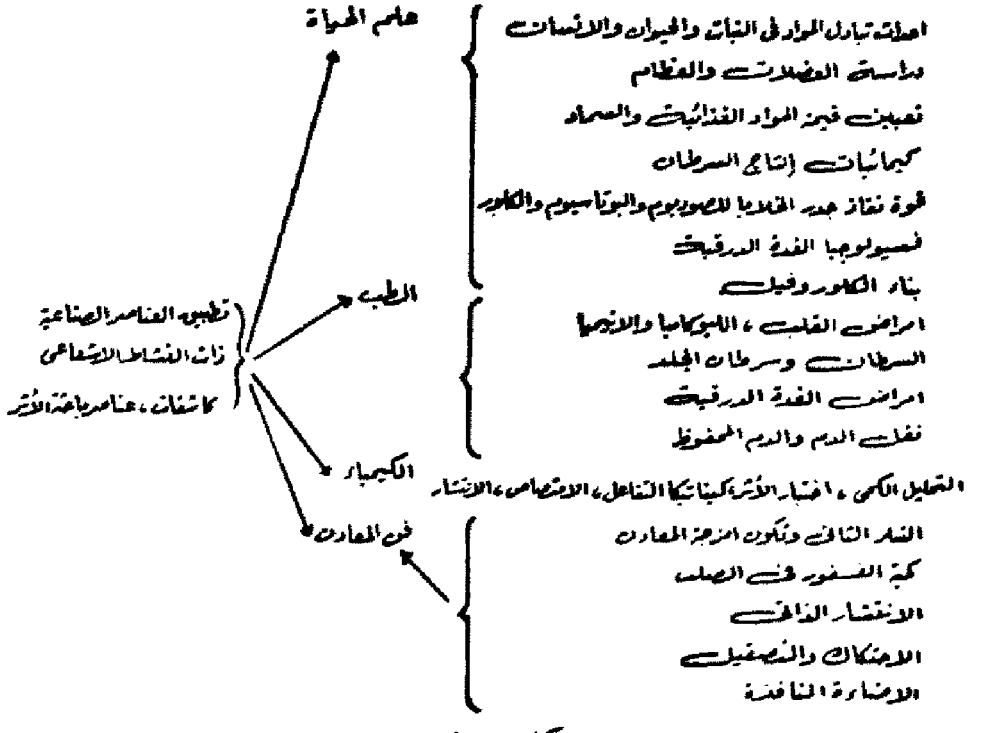
ومثل هذه المستحضرات تصبح ملائمة جدا كمصدر لأشعة بيتا وألفا خصوصا اذا استعملت بعد اضمحلال العناصر القصيرة العمر ذات النشاط العالى الخطر •

وبينما نحصل على نظائر عناصر عديدة تزيد عن المائة ( كالباريوم والزنك والكبريت الخ •• ) اذا ما وضعنا اليورانيوم فى قنوات الحارق وذلك نتيجة لانقسامه •• فاننا لا نحصل الا على نظير نشط اذا وضعنا عنصرا كيمويا آخر كاليود أو الحديد أو الذهب •• الخ • ولمثل هذه العناصر النشطة أهمية كبرى ، ككاشفات ذات حساسية خارقة •

والآن قبل أن ندخل فى تفصيلات الكاشفات هذه نبين تخطيطيا فى شكلى ٧ ، ٨ ما يمكن أن يقدمه حارق كبير من الحارقات التى يحصل فيها على البلوتونيوم لأغراض حربية•


كهرباء
حرارة
نيوترونات
ابحاث
طبيعة نووية
علم الحياة
كيمياء وطبيعة
تفاعلات جديدة
دراسة الاشعاع
تأثير الاشعاع على
الحيوان والنبات
العلاج بالاشعة
ابحاث البلورات بالنيوترونات
تفاعلات كيميائية جديدة
تطبيقات متعددة الوجوه فى علم
الحياة والطب والكيمياء وفن المعادن
عناصر نشطة بالاشعاع
هارفه إيوراتيوم
نتائج انقسام
(عناصر ٣٢-٦٢)
ضبابا ذا نشاط اشعاعى
(غاز سام)
باليوتونيوم
يستخدم فى انتاج
عناصر جديدة ذات ابعاد صغيرة
ومقدرة كبيرة
قنابل ذرية

شكل ( ٧ )


علم الحياة
اعادة تبادل المواد فى النبات والحيوان والانسان
دراسة العضلات والعظام
تحسين خبز المواد الغذائية والعجائن
كيميائيات إنتاج السرطان
قوة نفاذ جديد الغدة للصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم
فسيولوجيا الغدة الدرقية
بناء الكالسيوم وفيتامين د
الطب
امراض القلب ، الليوكيميا والانيميا
السرطان وسرطان الجلد
امراض الغدة الدرقية
نقل الدم والدم المحفوظ
تطبيقات العناصر الصناعية
ذات النشاط الاشعاعى
كاشفات ، عناصر باعثة الأشعة
الكيمياء
التحليل الكمى ، اختبار الأثر الكيميائى للتفاعل ، الامتصاص ، الانتشار
فن المعادن
السلك الذائب وتكوين امزجة المعادن
كمية الشوائب فى الصلب
الانتشار الذاتى
الامتزاج والتصفيح
الاضاءة الفائقة

شكل ( ٨ )

يشير السهم العمودى الى أعلى فى شكل ٧ الى تحويل حرارة التفاعل الى تيار كهربى المأمول انجازه فى المستقبل • ويشير السهم الى أسفل الى الحصول على قنابل وحارقات ذات أبعاد صغيرة من تكون البلوتونيوم • يمكن الحصول على مثل هذه الحارقات ذات الأبعاد الصغيرة بأن يخلط اليورانيوم العادى مع البلوتونيوم السهل الانقسام أو اليورانيوم ٢٣٥ كمادة احتراق زائدة •

يشير السهم المتجه الى اليمين الى اشعاع جاما القوى لعدد كامل من نتائج التفتت المتكونة باستمرار فى الحارق وكذلك الى النيوترونات العديدة المصاحبة للانقسام والزائغة الى الخارج • وأشعة جاما هذه ذات أهمية كبيرة للأبحاث البحتة كما هو مبين ببعض الاشارات الى الطبيعة النووية وعلم الحياة والكيمياء الطبيعية ( سهم رفيع يمينا الى أعلا ) • أما النيوترونات فاستخدمت فى تنشيط عدد كبير من العناصر الكيميائية العادية صناعيا التى تجد عندئذ استخداما متعدد الوجوه ككاشفات ( شكل ٨ ) •

يبين السهم ، يمينا الى أسفل ، نتائج الانقسام العديدة التى تكلمنا على عدد كبير منها قبلا ، والتى يسبب اشعاعها خطر الآلة ويمكن أن تستخدم ككاشفات اذا كان نشاطها ضئيلا • يبين السهم الرفيع يمينا الى أسفل أجزاء نتائج التفتت كعناصر الزينون النشط ونظير الكريبتون واليود التى تكون لها خاصية ( الغاز السام ) اذا كانت موجودة بكمية كبيرة ( فى القنبلة الذرية مثلا ) بالرغم من أن هذه العناصر لا تمثل بنفسها غازات سامة •

## استخدام العناصر النشطة الصناعية ككاشفات

العنصر المنشط يصبح ذا نشاط اشعاعى قوى مكّن من الاستدلال على أية كمية منه مهما تناهت فى الصغر • فقد أصبح بالامكان أن نكشف عن مصير أى عنصر فى الانسان أو الحيوان أو النبات وعن نظام توزيعه وامتصاصه وافرازه فى جميع الأنسجة بل الخلايا • ( فيمكن الاستدلال مثلا على الحديد فى كرة واحدة من كريات الدم الحمراء • فاذا علمنا أن المليمتر المكعب من الدم يحوى نحو ٥ ملايين كرة وأن الكرة تحوى جزءا من ألف فقط من الحديد أمكننا أن نتصور الدقة المتناهية التى تتوافر لدينا باستعمال العناصر المنشطة فى الكشف ) •

وقد أجريت فعلا تجارب عديدة على العناصر التى تدخل فى تركيبها كالصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والفسفور والكبريت •

والآن نتكلم عن استخدام هذه الكاشفات بالتفصيل فى علوم الحياة والطب وكذا فى الكيمياء وفن المعادن •

**علم الحياة :**

ما زالت التغيرات التى تحدث بالمادة فى الانسان والحيوان والنبات مجالا لأبحاث ناجحة فى علم الحياة • وقد

أدخلت الآن فى دراسات بحث الأثر تلك العناصر الهامة المرتبطة بتأدية الحياة كالصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والفوسفور والكبريت وكذلك الجديد والكربون على شكل عناصر ذات نشاط اشعاعى •

ويحتاج الحصول على كربون نشط الى تعريضه لمدة طويلة لمصدر اشعاع فهو من العناصر « الثابتة » النشاط ( لا يفقد نصف قوته الاشعاعية الا بعد ٦٠٠٠ سنة ) • ولما كان الكربون هو أهم العناصر التى يتكون منها الكائن الحى كان الاحتياج الى الكربون المنشط اشعاعيا كبيرا جدا فى الولايات المتحدة بحيث أصبح غير متوفر تقريبا خارجها •

وتستخدم العناصر النشطة ذات العمر القصير نسبيا ( أى تلك التى تفقد نصف قوتها الاشعاعية فى مدة قصيرة ) فى التغييرات التى لا يتطلب دراستها وقتا طويلا • وقد أدخل هفسى Hevesy ومساعدوه الفوسفور النشط الاشعاع فى عدة أبحاث منذ بضعة سنوات • فالفسفور ذو النشاط الاشعاعى علاوة على سهولة الحصول عليه يعد المصدر المثالى لأشعة بيتا ( يفقد نصف قوته الاشعاعية فى ١٤ يوما ) • ولما كان الفسفور يدخل فى تركيب العظام والأسنان أمكن باستخدام الفسفور المشع دراسة كل التغييرات الحيوية التى يتم بها تركيب تلك الأنسجة وما قد يطرأ عليها من تبديل فى أطوار الحياة •

والصوديوم ذو النشاط الاشعاعى يسهل الحصول عليه جدا ( يفقد نصف قوته الاشعاعية فى ١٤٫٨ ثانية فقط ) ويستخدم فى دراسة دورة هذا العنصر الحيوى الهام فى الجسم كلوريد الصوديوم ( ملح الطعام ) استبدل بعض الصوديوم به بصوديوم ذى نشاط اشعاعى فاذا أخذ الانسان جرعة ماء تحوى بعضا منه أمكن تتبع أدوار امتصاص الملح من المعدة والأمعاء الى الدم أولا فأولا بواسطة أنبوبة تعداد « جيجر مللر » وقد أمكن بهذه الطريقة أن يستدل على أن ملح الطعام يصل الى أطراف أصابع اليد بعد دقائق معدودة من أخذ جرعة منه .

وبينما تتم دورة الصوديوم فى الجسم السليم بسرعة — بعد ساعتين — فانها تتأخر فى بعض الحالات المرضية التى تصيب الدورة الدموية . ومن الممكن فى بعض الحالات « الغنغرينا » الاستدلال على موضع توقف الدورة الدموية فى وقت مبكر مما سيساعد حتما على سرعة اجراء العلاج اللازم أو بتر الجزء المصاب .

وقد أجريت سلسلة كبيرة من الأبحاث بوساطة اليود النشط الاشعاع . فمن المعروف أن اليود يدخل فى تركيب هرمون الغدة الدرقية كما أن حالات مرضية معينة لهذه الغدة تنجم عن نقص فى اليود فى الغذاء . ومن الممكن تعيين سرعة تحول اليود فى هذه الغدة الى الهرمون الخاص باستخدام

اليود المشع وذلك بوساطة أنابيب « جيجر مللر » Geiger Moeller التى تهدينا ضربات عدادها الى مصير المادة النشطة ، والى الكمية الموجودة فى الجزء المختبر •

ويمكن باجراء تجارب مماثلة بالحديد المشع أن نعرف أى مركبات الحديد أكثر ملاءمة لجسم الانسان ، وباستخدام الأسمدة المشعة أيها أكثر صلاحية لنمو النبات •

ولعل أهم هذه الأبحاث اطلاقا هى تلك التى تجرى الآن لمعرفة كيف يستطيع النبات أن يحول غاز الكربون والماء الى مواد سكرية ونشوية باستخدام طاقة أشعة الشمس ؟؟ ان الطريق للوصول الى هذا الكشف العظيم ما زال طويلا ولكنا نتعشم أن نصل يوما ما • ويستخدم الكربون المشع الآن لاجراء هذه التجارب والوصول الى المعادلات الوسطى التى يتحول بها الماء والهواء الى الغذاء الرئيسى •

واذا تم نمو النبات فى جو من ثانى أكسيد الكربون النشط أصبحت جميع أجزائه ذات نشاط اشعاعى ويمكن باتباع هذه الطريقة على نبات الخشخاش مثلا أن نحصل على « مورفين » مشع يمكننا اذا أجرينا به التجارب على الانسان أن نصل الى تفاصيل امتصاصه وتوزيعه فى أجزاء الجسم المختلفة بكل دقة • واذا أطعمنا الحيوانات طعاما ذا نشاط اشعاعى ، حوت الهرمونات التى تستخلص منها بعد ذبحها ( كالانسولين ) نشاطا اشعاعيا وهذا يهيىء لنا اجراء التجارب على مثل هذه المواد الحيوية وتتبع دورتها بكل دقة •

واجراء مثل هذه التجارب على الانسان لا خطر منها فأشعة بيتا التى يطلقها الكربون النشط سهلة الامتصاص وعديمة الضرر ولكن ما زالت التفاصيل الفنية لاجراء هذه التجارب معقدة وهى لا تجرى تقريبا الا فى الولايات المتحدة حيث يتوافر عنصر الكربون ذو النشاط الاشعاعى الباهظ الثمن •

**الطب :**

تعتمد التجارب هنا على « الألفة النوعية » لبعض خلايا الجسم أو أنسجته للعنصر أو المادة المستخدمة • فبينما يتركز تأثير المورفين على الجهاز العصبى نجد أن الغدة الدرقية هى التى تسيطر وحدها على تنظيم دورة اليود وانتاج الهرمون الذى يحتويه • فتلك الخاصية الطبيعية للغدة الدرقية فى امتصاص اليود دون أعضاء الجسم الأخرى تتيح لنا فرصة علاج حالات سرطان الغدة الدرقية باستخدام عنصر اليود المشع •

كما تعتمد التجارب أيضا على اختلاف تأثر الخلايا المتنوعة بأشعة بيتا وجاما المنطلقة من العناصر ذات النشاط الاشعاعى المستخدمة • ويجب أن نعود بالذاكرة هنا الى أن أهمية استخدام الراديوم فى علاج السرطان تعود الى اختلاف تأثر الخلايا السرطانية عن خلايا الجسم بأشعته ، فبينما تهلك الخلايا السرطانية فى مدة معينة لا تكاد تضار خلايا الجسم الأخرى •

ومن المهم أن تتذكر أن هناك اختلافا فى تأثر الجسم بأشعة بيتا وجاما فبينما تفوق أشعة بيتا أشعة جاما فى تأثيرها الموضعى الا أنها تقل كثيرا عنها فى قوة نفاذها ولذلك كانت أكثر ملائمة فى علاج حالات السرطان السطحية كسرطان الجلد .

ومن العناصر التى يقتصر اشعاعها على أشعة بيتا فقط ، نظائر الكالسيوم والفسفور والفضة والكبريت ومن العناصر التى تشع نظائرها ( المشعة ) أشعة جاما علاوة على أشعة بيتا الصوديوم والبوتاسيوم والانتيمون .

وقد استخدم الفسفور كدواء مثالى لعلاج سرطان الجلد فبخلو اشعاعه من أشعة جاما النافذة أمكن تركيز تأثيره على الجزء المصاب .

وتأتى أهمية الفسفور المنشط الكبرى فى علاج حالات الـ Ploycythœmia التى تزداد فيها عدد كرات الدم الحمراء زيادة كبيرة . فلما كانت كرات الدم تتكون فى نخاع العظم الذى يمتص بطبيعته الفسفور من الدم أمكن باستخدام الفسفور المنشط أن نسيطر على مصدر انتاج كرات الدم الحمراء . ولقد دلت التجارب على أن الأشعة المنطلقة تؤدى فعلا الى هبوط فى انتاج الكرات الحمراء وبذلك استخدم الفسفور المنشط بنجاح فى علاج هذه الحالات .

وما زالت نتائج استخدام الفسفور المنشط فى حالات

ازدياد كرات الدم البيضاء Leukœmja موضع شك وهى لا تبعث على الرضاء •

من المعلوم أن الحديد يدخل فى تركيب الهيموجلوبين الذى يكون المادة الرئيسية لكرات الدم الحمراء • فباعطائنا الحديد المنشط لفرد ملا يمكننا أن نكسب كرات دمه الحمراء نشاطا اشعاعيا •ولو أخذت عينة من هذا الدم المنشط كان بامكاننا تتبعها اذا حقنت فى دم شخص آخر وذلك بوساطة أنابيب الكشف ( جيجر مللر ) ويمكننا بهذه الطريقة أن نستدل على كمية الدم فى الدورة الدموية • فلو فرض أن كمية الدم المنشط التى حقنت كانت ١٠ سم$^{٣}$ فلن تمضى دقائق حتى تمتزج بالدم العادى فبأخذ عينة أخرى بعد ذلك يمكننا بسهولة وبدقة متناهية أن نقدر نسبة الدم المنشط بوساطة أنابيب جيجر مللر فلو كان ١ : ٨٥٥ مثلا أمكننا أن نعين كمية الدم فى الدورة بأنها ٨٥٥٠ سم$^{٣}$ •

وقد أمكننا أيضا أن نصل الى معرفة مدة صلاحية الدم المحفوظ ( المستخدم فى عملية نقل الدم ) وذلك بحقن عينات مشعة مضى على حفظها أوقات مختلفة وتتبع مصيرها بوساطة أنابيب جيجر مللر • وقد اتضح أن مدة الصلاحية هى ثلاثة أسابيع •

هذه أمثلة لاستخدام النشاط الاشعاعى فى فروع الطب وما زلنا فى أول الطريق ولكن الطريق قد مهد لأبحاث أخرى يجريها الاخصائيون •

**الكيميا :**

هنا تستغل الحساسية المرهفة التى يمكن الكشف بها عن المواد المشعة فى الكشف عن أى أثر مهما بلغ من الصغر • فقد استطعنا بهذه الطريقة أن نكشف عن وجود « آثار » لبعض المعادن فى عمليات ترسيب كانت الاختبارات الكيموية العادية تؤكد عدم وجودها •

كما أن اختلاف تأثر بعض المعادن لمصدر الاشعاع بالنيوترونات عن معادن أخرى يهيىء لنا وسيلة سهلة دقيقة فى الكشف عنها • فالفضة مثلا تتحول الى نظير ذى نشاط اشعاعى لو عرضت لمدة دقائق لمصدر اشعاع نيوترونات متواضع بينما لا يتأثر الألومونيوم فى مثل هذه المدة •

وفى حالات الترسيب الكيموية لمركب يختلف مقدار ما « يعلق » بالراسب من مواد المحلول تبعا لاختلاف الطريقة المستعملة • وتختلف تبعا لذلك درجة « نقاوة » المركب المرسب • ويمكن باستخدام العناصر المشعة فى جميع الطرق أن نستدل على أوفقها وكذلك ما قد يساعد على التقليل من عدم نقاوة المستحضر • فان دقة الكشف التى تهيئها أنابيب جيجر مللر تفوق كثيرا ما يمكن أن تبينه تجارب الفحص الكيمائى العادية •

كان من المهم أيضا فصل الكميات الضئيلة من الرصاص المحتوية بالشهب ( نتيجة اضمحلال اليورانيوم والثوريوم )

وذلك فى الأبحاث القديمة المتعلقة بأعمارها • والآن يمكن حل هذه المسألة الهامة باستخدام نظير الرصاص النشط •

والى عهد قريب كان هناك فى جدول العناصر المسلسل بعض العناصر « المجهولة » التى لم توجد بالطبيعة بعد ، وترتيبها فى السلسلة ٤٣ ، ٦١ ، ٨٥ ، ٨٧ ، ٩٣ ، ٩٤ ، ٩٥ ، ٩٦ • وقد تهيأ لنا الآن أن نسبق الطبيعة فننتج بعض تلك العناصر المجهولة صناعيا• فتم لنا الآن الحصول على العنصر ٤٣ الذى أطلق عليه اسم ( تكنونيوم ) والعنصر ٩٣ ( نبتونيوم ) والعنصر ٩٤ ( بلوتونيوم ) وهذا العنصر هو بالذات ما يكون القنبلة الذرية • لقد أصبحت هذه العناصر تحت التصرف بالجرامات •• بل وبالكيلو جرامات فى الولايات المتحدة •

**علم المعادن :**

تضاف بعض العناصر الى المعادن أو بعض المعادن لبعضها لزيادة صلابتها أو مرونتها أو الحصول على خليط له بعض المزايا الخاصة • وهذا المزج له أهميته الكبرى فى الصناعة •

كان الخليط يفحص ميكروسكوبيا أو تجرى عليه تجارب طبيعية لفحص صلاحيته أما الآن باستخدام عنصر نشط فى هذا المزيج أمكننا بتعريض لوح فوتوغرافى لصفيحة رقيقة من المزيج أن نحصل على صورة تبين لنا بكل دقة درجة انتظام توزيع حبات المعدن فى المزيج فالتسويد المنتظم يدل على اتساق التوزيع بينما سوء التوزيع يعطى ظلا من البقع فى الصورة •

فى عملية صناعة الصلب التى هى من أهم الصناعات بلا جدال يؤثر وجود الفسفور ولو بكميات ضئيلة على خواص الصلب المنتج فلو أضيف الفسفور المنشط الى الحديد المصهور وأجريت عليه بعد ذلك عملية التنقية من الفسفور أمكن أن يعين مقدار آثار الفسفور المتبقية وذلك بدقة متناهية لا تتأتى لنا بالوسائل الكيموية التحليلية العادية .

وقد أصبح فى الامكان الآن اختبار أجزاء الآلات الصناعية الضخمة بأن نسلط عليها مواد مشعة ونعرض ظلالها على لوح فوتوغرافى فتبين لنا الصورة الفجوات أو العيوب المختلفة فى الآلة .

وفى كثير من الآلات يحدث احتكاك مستمر بين أجزائها يؤدى الى تطاير « تراب » معدنى غير مرئى . ويستخدم فى الحد من أثر هذا الاحتكاك « الزيت » ولا شك أن أمان استعمال هذه الآلات ومدة استهلاكها تعتمد الى حد كبير على صلاحية الزيت المستعمل وعلى اكتشاف أى تغير فى حمايته لأجزاء الآلة المعرضة للاحتكاك . فلو طلى سطح هذه الآلات بمعدن مشع أمكن بفحص عينة من الزيت أن نقدر بدقة درجة الاحتكاك وذلك بالكشف عن التراب « المشع » الذى علق به . كما يمكننا لو استعملنا زيتا مشعا أن نفحص سطح الأجزاء المعرضة للاحتكاك بعد مسحها جيدا بالبنزين فنجد أنه التصق بالمعدن طبقة رقيقة غير مرئية من الزيت لم يكشف عن وجودها قبل ذلك .

تتبين مما قدمنا من الأمثلة اتساع المجال أمام استخدام العناصر النشطة الاشعاع فى فروع العلم والصناعة وهو دليل على ما يمكن أن يقدمه استخدام الطاقة الكامنة داخل الذرة للانسانية المسالمة من فوائد . وذلك الى جانب تلك الحرارة الهائلة الناتجة مباشرة والتى نأمل مستقبلا فى أن نستطيع تحويلها الى طاقة كهربية .

# ملاحظـــات ختاميـــة

كان محور الأبحاث التى أدت الى اكتشاف الطاقة الذرية يدور حول امكان تحويل العناصر الى بعضها • ويبدو أننا كنا نترسم خطوات الكيميين القدماء فى تحويل المعادن الى أخرى • ولكن هدف هؤلاء كان منحصرا فى انتاج الذهب من المعادن البخسة • ومن المحتم أن يلقى علينا هذا السؤال : هل نجحنا فى ذلك ؟ ؟

ان عينة من الذهب الصناعى المعروضة الآن فى متحف شيكاغو للعلوم والصناعات بالولايات المتحدة تجيب على هذا السؤال •

ولم يكن هناك من داع لأن يستحوذ الذعر بقلوب الشركات المتسلطة على موارد الذهب بالعالم فان تكاليف الذهب الصناعى فاحشة وتفوق كثيرا تكاليف استخراج الذهب الطبيعى • ولم يتمكن من الحصول عليه الا فى الولايات المتحدة لمواردها الهائلة ( الأستاذ دمبستر ) Dempster [1] وليس للذهب الصناعى من أهمية الآن الا من الوجهة العلمية فقط •

---

(١) استخدمت نيوترونات ذات طاقة كبيرة لطرد بروتون من نواة الزئبق شحنته ( ٨٠ ) منتجا الذهب بشحنة نواة (٧٩) •

وربما يبدو غريبا أن أهمية أكبر كثيرا تتعلق بتحويل الذهب الى معدن بخس ( الزئبق )[1] فالزئبق الذى يحصل عليه بهذه الطريقة هو نظير الزئبق النقى ( وزن ذرى ١٩٨ ) بينما الزئبق الطبيعى يمثل خليطا معقدا من نظائر الزئبق • ويستخدم هذا الزئبق ذو النظير الواحد الآن كمستحضر مثالى فى علم الضوء لقياس طول الموجة بدقة • لقد كان هدفنا أن نحول الزئبق ذهبا فأصبح هدفنا الآن تحويل الذهب الى زئبق •

وقد كان ذلك حالنا لدى محاولتنا تحطيم ذرة اليورانيوم ٢٣٥ لنحصل على العناصر النشطة فاذا بنا نحصل على البلوتونيوم من اليورانيوم ٢٣٨ ، فلما اكتشفنا ما لهذا العنصر من خاصية متفجرة اذا تجمعت منه كمية خاصة تحول اهتمامنا الى هذا الكشف والى تحضير القنبلة الذرية •

يتحدث العالم اليوم عن القنبلة الذرية وقد سيطر عليه الخوف من الحرب • ونحن نريد الآن وقبل فوات الأوان أن ينحصر اهتمامنا الرئيسى فى محاولتنا الأولى ؛ أى انتاج العناصر ذات النشاط الاشعاعى واطلاق الطاقة الكهربية الكبرى واستخدامها فى الأغراض السلمية لتقدم وخير الانسانية • نريد أن ينتصر جانب الخير باستخدام التفاعل المسلسل المسيطر عليه على جانب الشر فى تلك التفاعلات غير المسيطر عليها المؤدية الى الانفجار والدمار •

---

(١) استخدمت نيوترونات بطيئة فتمتص نواة الذهب شحنة (٧٩) نيوترونا فيتحول الى ذهب ذى نشاط اشعاعى وهذا يتحول الى نظير الزئبق النقى .