

الفصل الثالث:

المواد المشعة والطاقة النووية

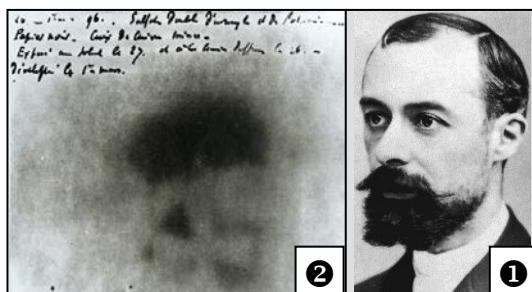
تمهيد:

تعتمد الطاقة النووية على استغلال النشاط الإشعاعي لبعض المواد كالاورانيوم والتي تحرر كمية كبيرة من الطاقة يتم تحويلها إلى طاقة كهربائية قابلة للاستغلال من طرف الإنسان. وعلى الرغم من مزايا الطاقة النووية والمواد المشعة، إلا أن لها عدة مخاطر على الإنسان والبيئة.

- **فما هي المواد المشعة وما مزاياها؟**
- **ما هي أخطار التلوث النووي والنفايات النووية؟**
- **ما هي البدائل البيئية للطاقة النووية؟**

I - المواد الإشعاعية النشطة

① اكتشاف النشاط الإشعاعي: انظر الوثيقة 1.

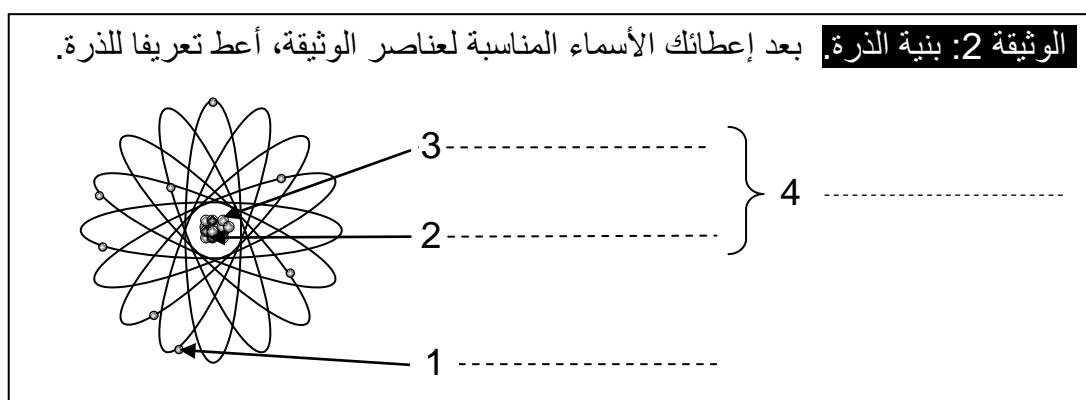


الوثيقة 1: اكتشاف النشاط الإشعاعي.

وضع مادة الأورانيوم على صفيحة فوتوجرافية ملفوفة بورق أسود سميك، وحفظ التحضير في مكان مظلم. بعد أيام لاحظ أثراً على الصفيحة الفوتografية (الشكل ②).
ماذا تستخلص من ملاحظات H. Becquerel؟

لقد اكتشف H. Becquerel أن بعض المواد تتميز بنشاط إشعاعي، أي أنها تصدر إشعاعات قادرة على اختراق المادة.

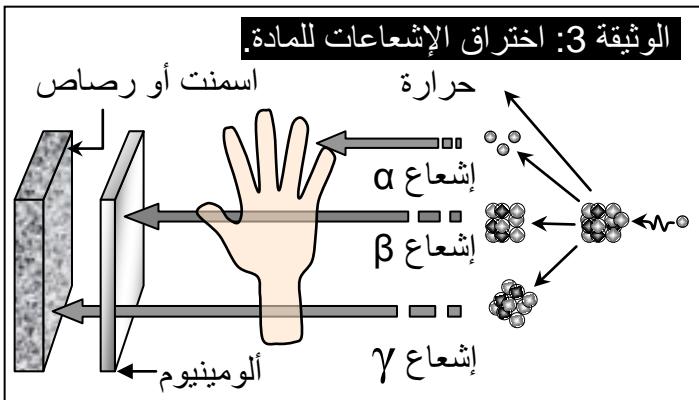
② مكونات الذرة: انظر الوثيقة 2.



تتكون المواد من ذرات كل ذرة يوجد في وسطها منطقة صغيرة جداً وكثيفة موجبة الشحنة تسمى النواة. تحتوي النواة على بروتونات موجبة الشحنة، ونوترونات متعادلة الشحنة. وتحيط بالنواة إلكترونات، ذات شحنة سالبة.

يكون الفرق بين ذرات عنصر ما وذرات عنصر آخر بعدد البروتونات (أو عدد الإلكترونات) التي تحتويها كل ذرة. أما عدد النوترونات فيمكن أن يختلف حتى في ذرات العنصر الواحد ويشكل ما يعرف بنظائر العنصر. حيث تسمى ذرات العنصر الواحد التي تختلف في عدد النوترونات بالنظائر Isotopes. ويطلق على عدد البروتونات والنوترونات المكونة لنواة الذرة بعدد الكتلة A.

③ الإشعاعات المنبعثة من المواد المشعة: انظر الوثيقة 3.



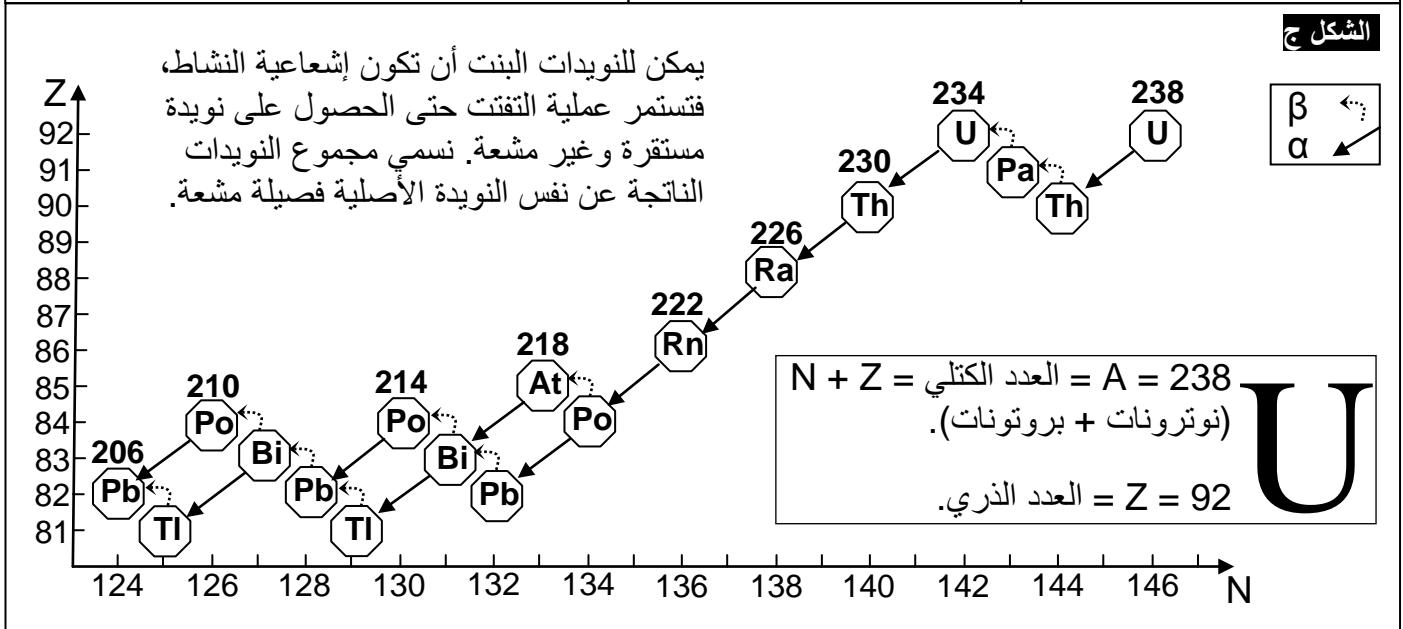
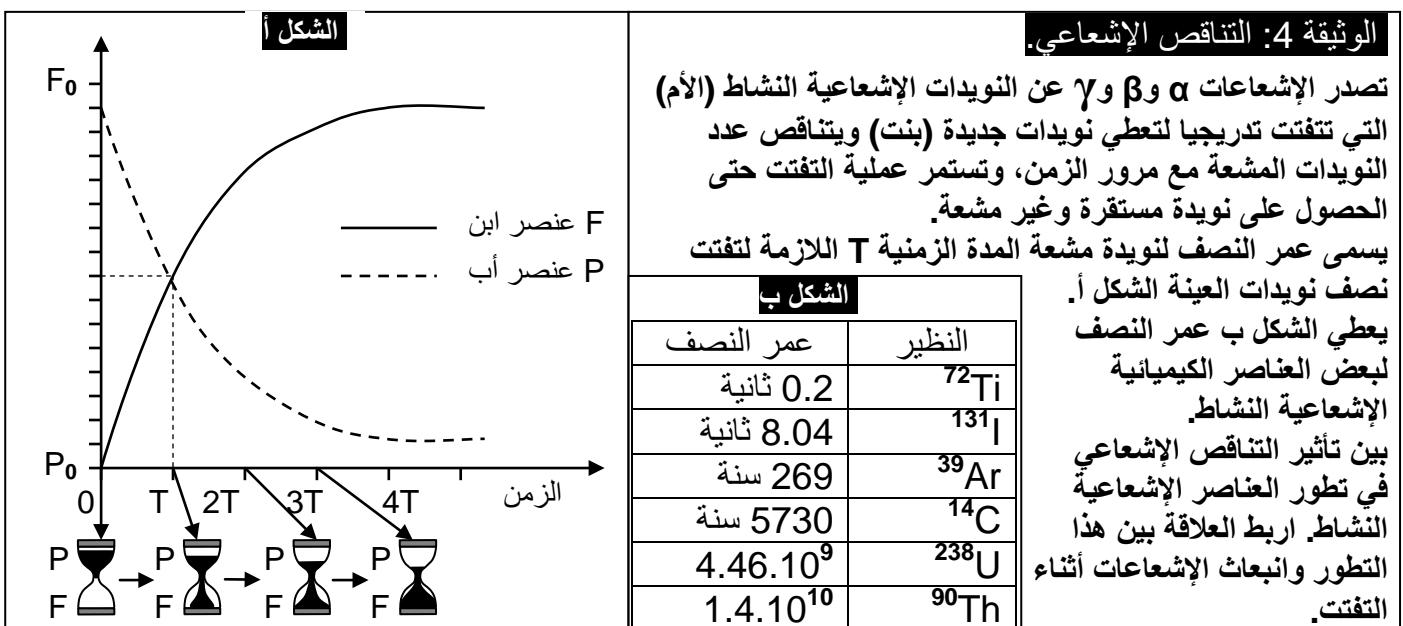
عندما تكون النواة غير مستقرة تتفتت إلى نواة أكثر استقراراً مع ابتعاث دقائق تكون إشعاعات، وتنقسم الإشعاعات إلى ثلاثة أنواع:

- ★ الإشعاعات α: هي نوبيات الهليوم He ويمكن توقفها بواسطة ورقة عادية.
- ★ الإشعاعات β: إما الكترونات أو بوزيترونات وهي أكثر طاقة وتحتاج ورقة من الألومنيوم بسمك 6mm لتوقفها.

- ★ الإشعاعات γ: هي فوتونات عالية الطاقة لها سرعة الضوء وتطلب حاجزاً من الاسمنت أو الرصاص لتوقفها.

④ بعض خصائص المواد الإشعاعية:

أ- التناقص الإشعاعي: انظر الوثيقة 4.



تتفتت تدريجياً النويدات الإشعاعية الشاط (الأم) لتعطي نويديات جديدة (بنت) ويتناقص عدد النويديات مع مرور الزمن وتستمر عملية التفتت حتى الحصول على نويدة مستقرة وغير مشعة، نسمى مجموع النويديات الناتجة عن النويدة الأصلية فصيلة مشعة. مثل الفصيلة المشعة للأورانيوم .

يسمى عمر النصف لنويدة مشعة، المدة الزمنية T اللازمة لتفتت نصف نويديات العينة.

بـ- الانشطار النووي:

تتم تفاعلات الانشطار النووي في المفاعلات النووية، وذلك بتفتيت نويدة (غالباً الأورانيوم) بنوترونات حرارية. وبصاحب هذا الانشطار انبعاث إشعاعات (نوترونات). و إذا كانت ذرات أخرى بجانب الذرات المنشطرة فإن النوترونات المحررة تسبب انشطارات أخرى تساهم في تفاعل متسلسل، وهو ما يؤدي إلى ارتفاع كبير في درجة الحرارة، يمكن الاستفادة منها في إنتاج الطاقة الكهربائية.

II - مزايا المواد الإشعاعية النشاط.

① توظيف المواد المشعة في إنتاج الطاقة: انظر الوثيقة 5.

الشكل أ



الوثيقة 5: توظيف المواد المشعة في إنتاج الكهرباء.

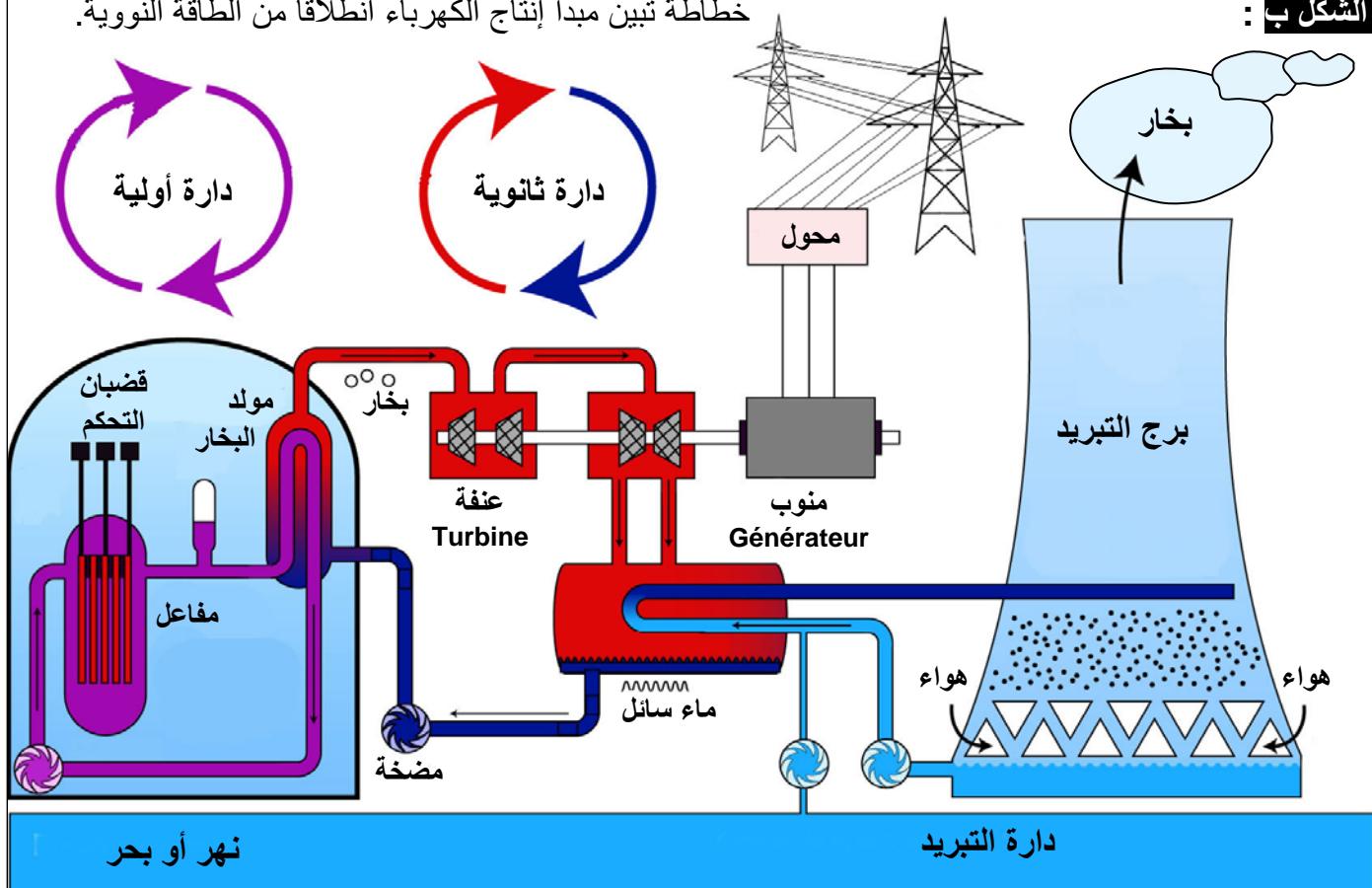
لقد أصبحت الطاقة النووية مصدراً مهماً للكهرباء في العالم حيث تستجيب لنحو 17% من الطلب العالمي. وتوجد حالياً زهاء 400 محطة نووية وظيفية عبر العالم.

الشكل أ: مدخنات أحد المفاعلات النووية.

الشكل ب: خطاطة تبين مبدأ إنتاج الكهرباء انطلاقاً من الطاقة النووية. انطلاقاً من معطيات هذه الوثيقة فسر كيفية إنتاج الطاقة الكهربائية باستعمال الطاقة النووية.

الشكل ب :

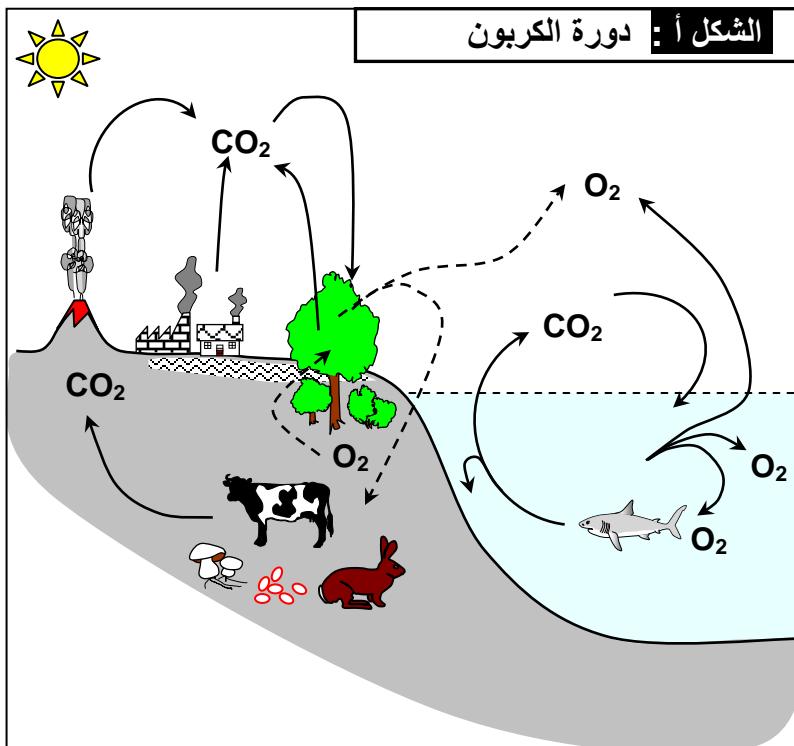
خطاطة تبين مبدأ إنتاج الكهرباء انطلاقاً من الطاقة النووية.



تعتمد المحطات النووية على الانشطار النووي، حيث تنشأ عن هذه العملية تفاعل متسلسل لا ينتهي إلا بتحويل المادة القابلة للانشطار إلى مواد جديدة وإطلاق كمية كبيرة من الطاقة على شكل طاقة حرارية تمكن

من توليد بخار انتلاقا من الدارة الثانية، حيث يمكن البخار من دوران عنفة منوب لتوليد الطاقة الكهربائية. ويتم التحكم في مختلف التفاعلات بواسطة قضبان التحكم التي تمتضى النوترونات الناتجة عن الانشطار.

② توظيف المواد المشعة في تاريخ الموارد: أنظر الوثيقة 6.



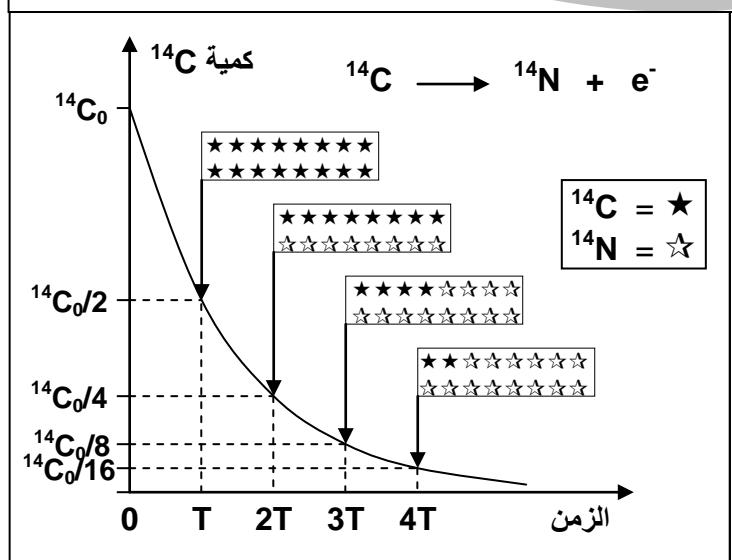
الوثيقة 6: التأريخ باستعمال الكربون ^{14}C .

ت تكون نوى الكربون ^{14}C في الطبقات العليا نتيجة تأثير النوترونات الفضائية في الأزوت ^{14}N .



تمتص المتعضيات ^{12}C و ^{14}C على شكل ثلائى أكسيد الكربون (الشكل أ)، وعند موتها يتوقف الامتصاص ويتنافص ^{14}C الموجود فيها بفعل التفت (الشكل ب).

عما أن عمر النصف للكربون ^{14}C هو 5730 سنة، وبمقارنة النشاط الإشعاعي a المتبقى في المتعضي مع النشاط a_0 لمتعضي حي من نفس الفصيلة، يمكن معرفة تاريخ موت المتعضي. تمكن العناصر الإشعاعية النشاط من التحديد الدقيق لعمر الصخور كذلك.



الشكل ب: تغير كمية ^{14}C الذي يتفتت إلى ^{14}N .

عندما يموت كائن حي ينغلق نظامه البيولوجي حيث يتوقف تبادل المواد مع الوسط الخارجي، وهذا خلال كل 5730 سنة يتحول نصف ذرات ^{14}C إلى ^{14}N .

يبين المبيان أمامه تغير كمية ^{14}C الذي يتفتت إلى ^{14}N .

باستثمار معطيات الوثيقة، بين أهمية المواد ذات النشاط الإشعاعي في تاريخ بعض الأجسام.

- يسمح التناقص الإشعاعي لبعض العناصر المشعة الموجودة في الكائنات الحية أو الصخور بتاريخها، وذلك بمقارنة النشاط الإشعاعي المتبقى في العينة المراد تأريخها، مع قياس النشاط الإشعاعي لعينة شاهدة من نفس الطبيعة.

- يتم الاعتماد على الكربون 14، عندما يتعلق الأمر بمدة لا تزيد عن 40000 سنة، لأن عمر النصف للكربون 14 هو 5730 سنة.

- يتم الاعتماد على الأورانيوم عندما يتعلق الأمر بمدة طويلة جدا مثل تاريخ الصخور.

③ توظيف المواد المشعة في الميدان الصناعي والطبي : انظر الوثيقة 7.

الوثيقة 7: استعمالات أخرى للمواد الإشعاعية النشاط.

❖ في الميدان الزراعي والصناعات الغذائية:

- تستعمل الإشعاعات γ وأشعة X في تعقيم المواد الغذائية وتمديد مدة حفظها (مثل التوابل). وذلك بمنع تكاثر الجراثيم والحشرات، وكبح إنبات البذور وزيادة مقاومتها للأمراض والطفيليات.
- تستعمل المواد المشعة لتبني امتصاص بعض العناصر المعدنية ومسارها داخل النبات.

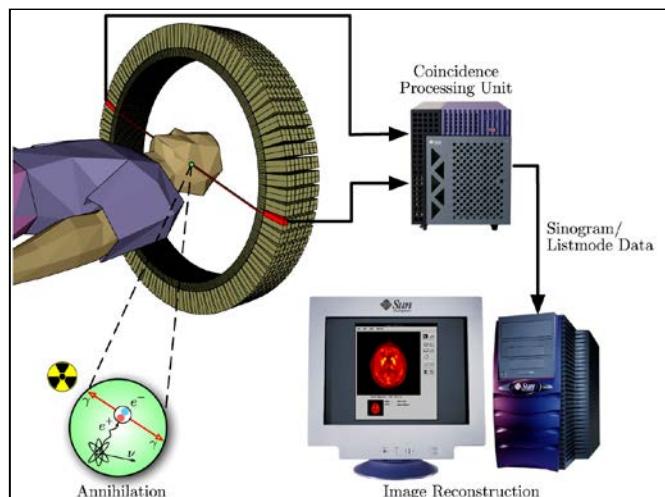
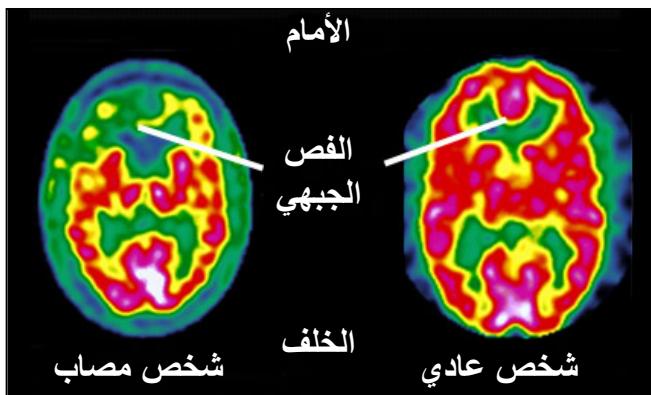
❖ في الميدان الطبي والبحث العلمي:

- يستعمل الأيسام بواسطة مواد إشعاعية النشاط لتتبع بعض الجزيئات داخل الخلايا أو الكائن الحي.
- تستعمل الإشعاعات في تشخيص الأمراض وعلاج البعض منها (مثلاً السرطان).
- تستعمل المواد المشعة لتعقيم الأدوات الطبية والتي يصعب تعقيمها بواسطة الحرارة أو المواد الكيميائية.

❖ في الميدان الصناعي:

- تستعمل الإشعاعات في الكشف عن العيوب الصناعية، وتقنيات اختبار الجودة.
- تستعمل المواد المشعة كذلك في الصناعات الحريرية.

Scintigraphie cérébrale



أ- التعقيم والحفظ على الأغذية:

تستعمل الإشعاعات γ و β من أجل:

- تعقيم المواد الغذائية المعلبة وتمديد مدة حفظها.
- كبح إنبات البذور وزيادة مقاومتها للأمراض والطفيليات.
- تعقيم الأدوات والوسائل الطبية، والتي يصعب تعقيمها بواسطة الحرارة أو المواد الكيميائية.

ب- في المجال الطبي:

تستعمل الإشعاعات في:

- التصوير الطبي La scintigraphie من أجل الفحص وتشخيص الأمراض: يحقن المريض بكميات ضئيلة من مادة إشعاعية النشاط لتثبت على العضو المستهدف. وبواسطة كاميرا خاصة يمكن استقبال الإشعاعات التي يرسلها العضو بشدة تختلف حسب شدة التثبيت التي تتغير حسب طبيعة وظيفة الخلايا. مثلاً يستعمل اليود 131 المشع لفحص الغدة الدرقية.
- الفحص بأشعة X الشبيهة بالأشعة γ والتي لها قدرة اختراع عالية لاستكشاف الأعضاء الداخلية للجسم.
- في التحاليل النووية لقياس نسبة بعض المواد في الدم أو في بعض الأعضاء.
- العلاج بالأشعة La radiothérapie حيث تستعمل إشعاعات مؤينة عالية الطاقة لتدمير الخلايا السرطانية.

جـ- في البحث العلمي:

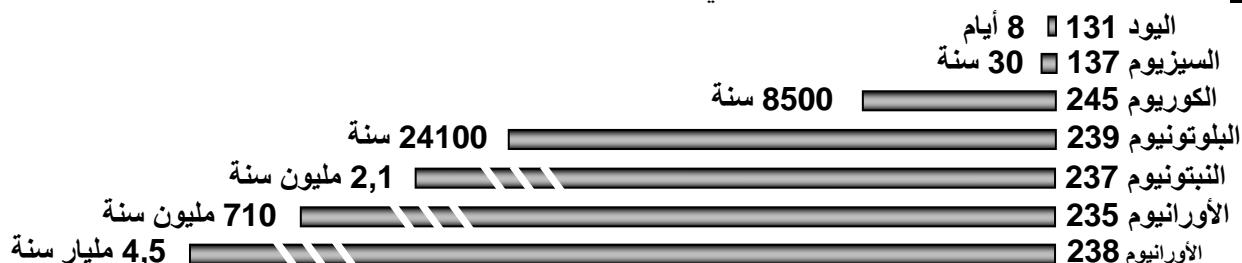
- استعمال الايسام الإشعاعي بواسطة مواد إشعاعية النشاط لتتبع مصير بعض الجزيئات داخل الخلايا.
- استعمال المواد الإشعاعية النشاط في مجال البحث الزراعي وذلك لإحداث التغير الوراثي عند بعض البذور أو النباتات للرفع من المردودية.

III - أخطار التلوث النووي.

① أخطار التلوث النووي على الصحة: انظر الوثيقة 8.

الوثيقة 8: أخطار التلوث النووي. انطلاقاً من المعطيات التالية، استخرج المظاهر السلبية للتلوث النووي على الصحة.

أ - تفقد العناصر التالية نصف نشاطها الإشعاعي خلال:



ب - لقياس النشاط الإشعاعي تستعمل الوحدات التالية:

- البيكيريل (Bq): عدد النوى التي تتفتت في الثانية بالنسبة لعينة إشعاعية النشاط.

- الغرافي (Gy): كمية الإشعاع الممتصة من طرف معرض للاشعاع ($1\text{ Gy} = 1\text{ J/Kg}$).

- السيفيرت (Sv): تعبر عن الآثار البيولوجية للإشعاعات على المتعضي.

ج - يتعرض جسم الإنسان إلى:

- الإشعاعات الطبيعية: إشعاعات فضائية (50mrem/an)، إشعاعات من القشرة الأرضية (50mrem/an)، ...

- الإشعاعات الصناعية: الفحص الطبي، الأجهزة الإلكترونية كالتلفاز وال ساعات (2mrem/an)، الغبار الناتج عن التجارب النووية (1mrem/an)، ... ($1\text{ mrem} = 10^{-5}\text{ Sievert}$)

د - الآثار البيولوجية للإشعاعات النووية:

تؤثر الإشعاعات النووية بنقل طاقتها لجزيئات العضوية وترتبط خطورة الإشعاع بنوع الإشعاع وشدة وطول المدة التي يتعرض لها الجسم لهذا الإشعاع النووي. يجب أن لا يتعرض جسم الإنسان لأكثر من 50 mSv في اليوم. انظر الجدول أدناه

| الآثار الفورية | جرعة الإشعاع ب mSv |
|-----------------------------|--------------------|
| دون آثار ملحوظة | 250 - 0 |
| تغير في عدد الخلايا الدموية | 1000 - 250 |
| غثيان، تقيؤ، إعياء شديد | 3000 - 1000 |
| موت في 50 % من الحالات | 4500 |

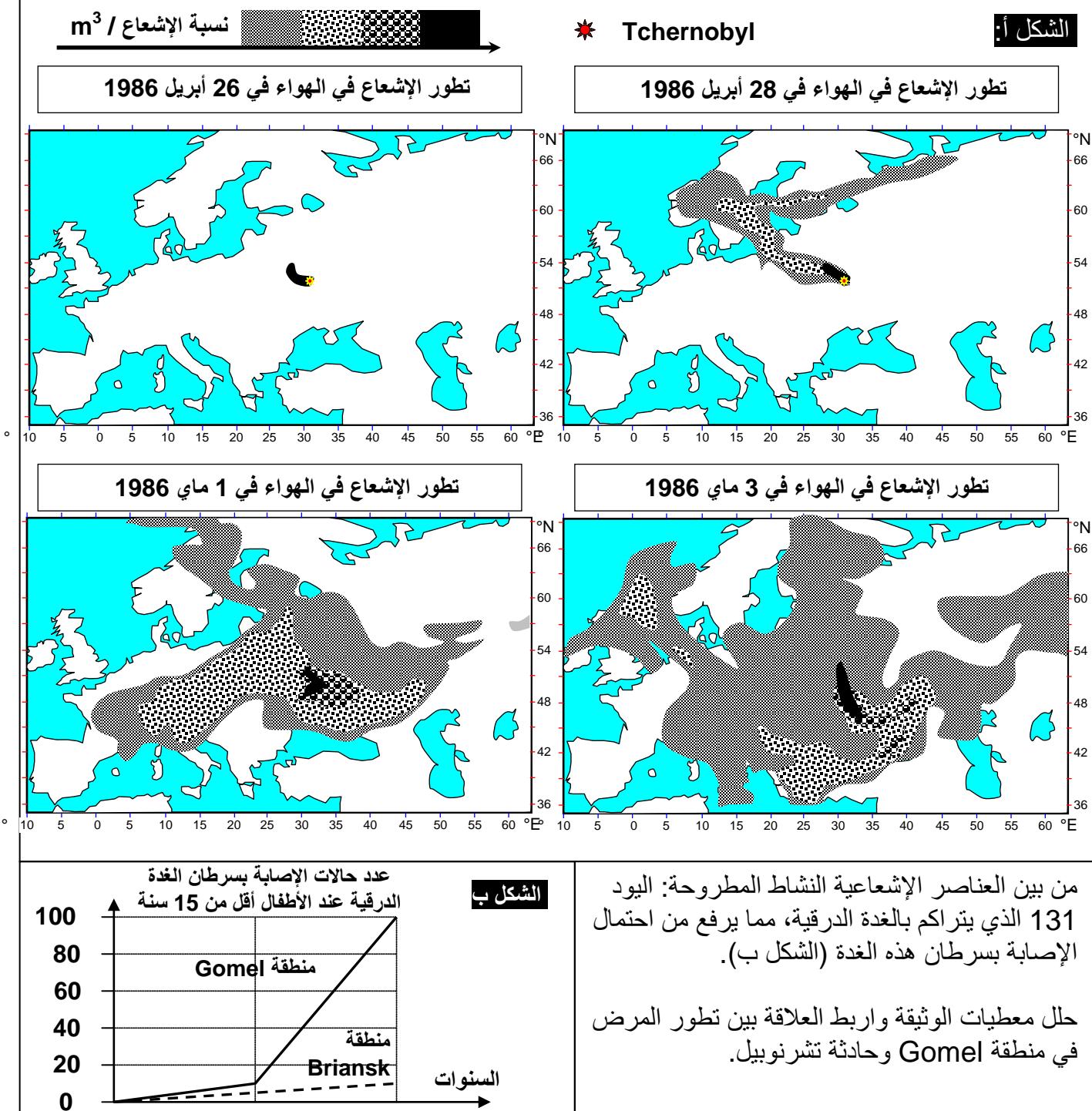
- تختلف فترة عمر النصف من عنصر إشعاعي آخر، وقد تصل إلى 4.5 مليار سنة، إذن تتجلى خطورة النفايات النووية في المدة الزمنية الكبيرة اللازمة لاختفاء النشاط الإشعاعي.

- يتعرض الإنسان للإشعاعات من مصادر مختلفة (إشعاعات طبيعية، الفحص الطبي الإشعاعي، البحث العلمي، الحوادث النووية ...). ويؤثر الإشعاع على الأنسجة الحية بشكل كبير خصوصاً على جزيئه ADN التي تختلف نتيجة تعرضها لكمية كبيرة من الإشعاع، حيث يصعب على الخلية إصلاحها، وقد تحدث بذلك طفرات. كما أنها تؤدي إلى تشوّهات خلقيّة عند تعرّض المرأة الحامل للإشعاعات، ويمكن أن تتسبّب في العقم.

② أخطار التلوث النووي على البيئة: أنظر الوثيقة 9.

الوثيقة 9: أخطار التلوث النووي.

في سنة 1996 وصل عدد المفاعلات النووية في العالم 437، يطرح كل مفاعل أثناء اشتغاله العادي عدة مواد إشعاعية النشاط: غازية عبر المدخنات، سائلة في الأنهر والبحار، وصلبة تتمثل في النفايات النووية. في يوم السبت 26 أبريل من عام 1986 شهد العالم أكبر كارثة نووية، حيث وقع حادث في مفاعل الطاقة في مدينة تشنريوبيل في أوكرانيا، ونتج عنه تحطم المفاعل وقدف جزء من قلبه إلى المحيط الخارجي، مما أدى إلى توزيع سحابة إشعاعية النشاط على مجموع أوربا الغربية (الشكل أ).



ينتتج عن نشاط المفاعلات النووية والتجارب النووية عدة مواد إشعاعية النشاط، غازية أو صلبة، يتم تحريرها في الجو والأنهر والبحار، فتؤدي إلى تلوث التربة والأوساط المائية، الشيء الذي يؤدي إلى تلوث مختلف الأوساط البيئية، حيث تنتقل هذه المواد إلى الكائنات الحية، وتتراكم عبر حلقات السلسل الغذائية.

مثال: انفجار المفاعل النووي لتشرنوبيل بأوكرانيا، الذي أدى إلى كارثة صحية وبيئية واقتصادية وسياسية تشكلت سحابة إشعاعية النشاط فوق موقع الانفجار، انتشرت بسرعة كبيرة بفعل الرياح إلى الدول المجاورة لتغطي مساحة شاسعة تقدر بآلاف الكيلومترات المربعة.

١٧ - إشكالية النفايات النووية والبدائل البيئية.

أبرز مشكل يواجه استعمال الطاقة النووية كمصدر للطاقة هو تدبير النفايات النووية الناتجة عن تشغيل المفاعلات النووية. فبقيا الوقود النووي تحتوي على عناصر إشعاعية النشاط، وانتهاء نشاطها الإشعاعي بواسطة التناقص الإشعاعي يتطلب مدة زمنية طويلة قد تتطلب ملايين السنين.

① تصنيف النفايات النووية:

تشكل النفايات النووية كل مادة إشعاعية النشاط، أصبحت غير قابلة لإعادة الاستعمال ويجب التخلص منها. وتصنف حسب مدة ومستوى نشاطها الإشعاعي إلى:

- ❖ **الصنف TFA (Très faiblement actif)**: نفايات ذات نشاط ضعيف جداً، ناتجة عن تفكك المفاعلات النووية.
- ❖ **الصنف A**: نفايات ذات نشاط ضعيف إلى متوسط و عمر قصير، مصدرها معدات المختبرات، المستشفيات والصناعات.
- ❖ **الصنف B**: نفايات ذات نشاط ضعيف و عمر طويل، مصدرها معدات معالجة الأورانيوم في المحطات النووية.
- ❖ **الصنف C**: نفايات ذات نشاط مرتفع و عمر طويل يدوم آلاف السنين، مصدرها قلب المفاعل النووي.

② إشكالية تدبير النفايات النووية:

❖ النفايات ذات المستوى الإشعاعي المنخفض والอายุ القصير: تخضع للمعالجة ثم تطرح في البيئة، حيث أن المعالجة تتركز على تجميعها في أوعية من البلاستيك أو الزجاج، وتركها إلى أن ينخفض مستواها الإشعاعي إلى حد أقل من المستوى الإشعاعي الطبيعي. وإذا كانت ذات عمر طويل فإنها تخضع للمعالجة الكيميائية داخل خزانات لتخفيض مستواها الإشعاعي.

- ❖ النفايات ذات النشاط الإشعاعي المتوسط: تخضع للتعليق في قوالب من الاسمنت أو الحديد الصلب غير القابل للتآكسد، ثم تترك إلى أن ينخفض مستواها الإشعاعي إلى درجة تسمح بتصريفها في الوسط البيئي.
- ❖ النفايات ذات النشاط الإشعاعي المرتفع والخطير: تخضع للانصهار مع مواد زجاجية للحد من إمكانية تفاعلها مع المحيط البيئي، لتدفن في موقع تخزين آمنة ومستقرة جيولوجيا، لمنع تسرب الإشعاعات.

③ إشكالية البدائل البيئية لتدبير النفايات النووية:

تعتبر الطاقة النووية أكثر كفاءة ومردودية، إلا أنها تطرح إشكالية في تدبير النفايات النووية. وهذا فالطاقة المتتجدد تعتبر بدلاً للطاقة النووية، كالطاقة الكهرومائية، والطاقة الريحية، والطاقة الشمسية... وتتميز هذه الطاقات البديلة بمرونة منخفضة، إلا أن التطور العلمي يمكن أن يرفع من مردوديتها حتى تساعد في تغطية الطلب العالمي المتزايد على الطاقة.