الفصل الثالث:
المواد المشعة والطاقة النووية

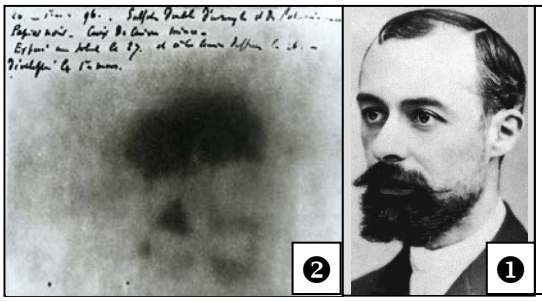
تمهيد:

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 النشاط.

① **اكتشاف النشاط الإشعاعي:** أنظر الوثيقة 1.



الوثيقة 1: اكتشاف النشاط الإشعاعي.

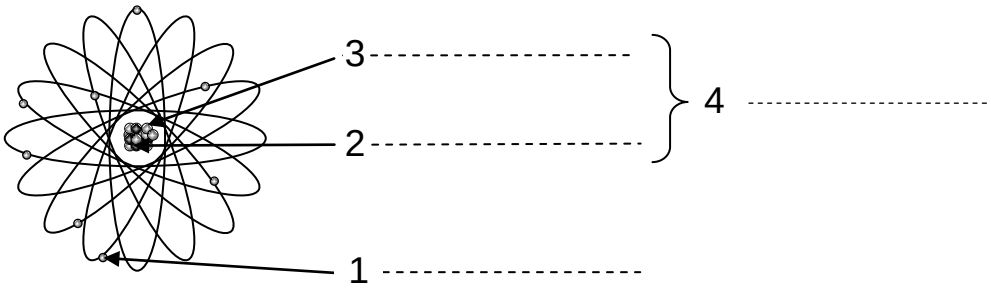
وضع Henri Becquerel (الشكل ❶) سنة 1896 مواد تحتوي على مادة الأورانيوم على صفيحة فوتوغرافية ملفوفة بورق أسود سميك، وحفظ التحضير في مكان مظلم. بعد أيام لاحظ آثارا على الصفيحة الفوتوغرافية (الشكل ❷).

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:** أنظر الوثيقة 2.

الوثيقة 2: بنية الذرة. بعد إعطائك الأسماء المناسبة لعناصر الوثيقة، أعط تعريفا للذرة.



1 = إلكترون،

2 = نوترون،

3 = بروتون،

4 = نواة

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 تسمي ذرات العنصر الواحد التي تختلف في عدد النوترونات بالنظائر Isotopes. ويطلق على عدد البروتونات والنوترونات المكونة لنواة الذرة بعدد الكتلة A .

Moutamadris.ma

③ الإشعاعات المنبعثة من المواد المشعة: أنظر الوثيقة 3.

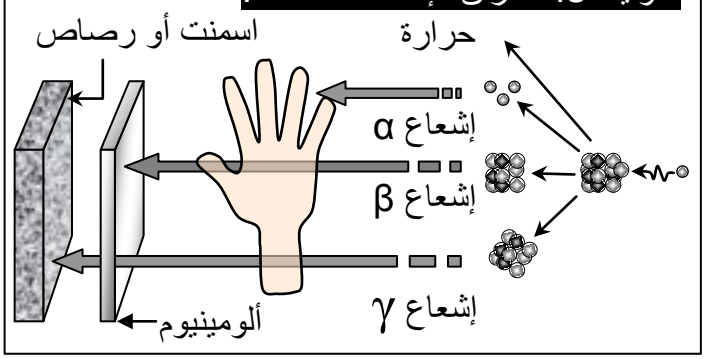
عندما تكون النواة غير مستقرة تتفتت إلى نواة أكثر استقرارا مع انبعاث دقائق تكون إشعاعات، وتنقسم الإشعاعات إلى ثلاثة أنواع:

★ الإشعاعات α: هي نويدات الهليوم He ويمكن توقيفها بواسطة ورقة عادية.

★ الإشعاعات β: إما الكترونات أو بوزيترونات وهي أكثر طاقة وتحتاج ورقة من الألومنيوم بسمك 6mm لتوقيفها.

★ الإشعاعات γ: هي فوتونات عالية الطاقة لها سرعة الضوء وتتطلب حائطا من الاسمنت أو الرصاص لتوقيفها.

الوثيقة 3: اختراق الإشعاعات للمادة.



④ بعض خاصيات المواد الإشعاعية:

أ- التناقص الإشعاعي: أنظر الوثيقة 4.

الوثيقة 4: التناقص الإشعاعي.

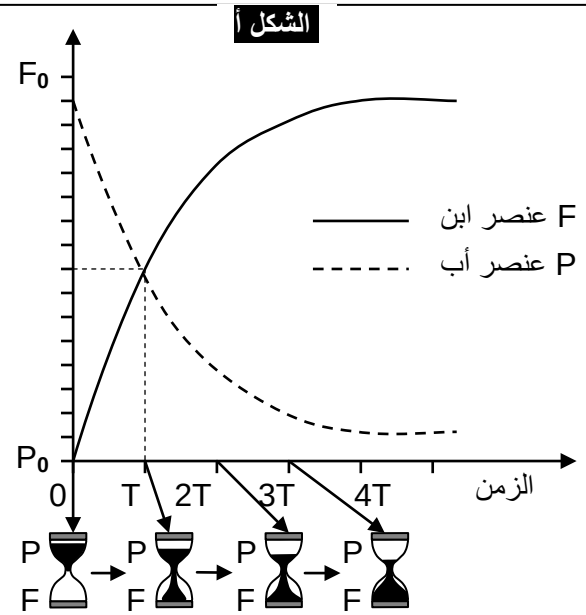
تصدر الإشعاعات α وβ وγ عن النويدات الإشعاعية النشاط (الأم) التي تتفتت تدريجيا لتعطي نويدات جديدة (بنت) ويتناقص عدد النويدات المشعة مع مرور الزمن، وتستمر عملية التفتت حتى الحصول على نويدة مستقرة وغير مشعة.

يسمى عمر النصف لنويدة مشعة المدة الزمنية T اللازمة لتفتت نصف نويدات العينة الشكل أ.

يعطي الشكل ب عمر النصف لبعض العناصر الكيميائية الإشعاعية النشاط.

بين تأثير التناقص الإشعاعي في تطور العناصر الإشعاعية النشاط. اربط العلاقة بين هذا التطور وانبعاث الإشعاعات أثناء التفتت.

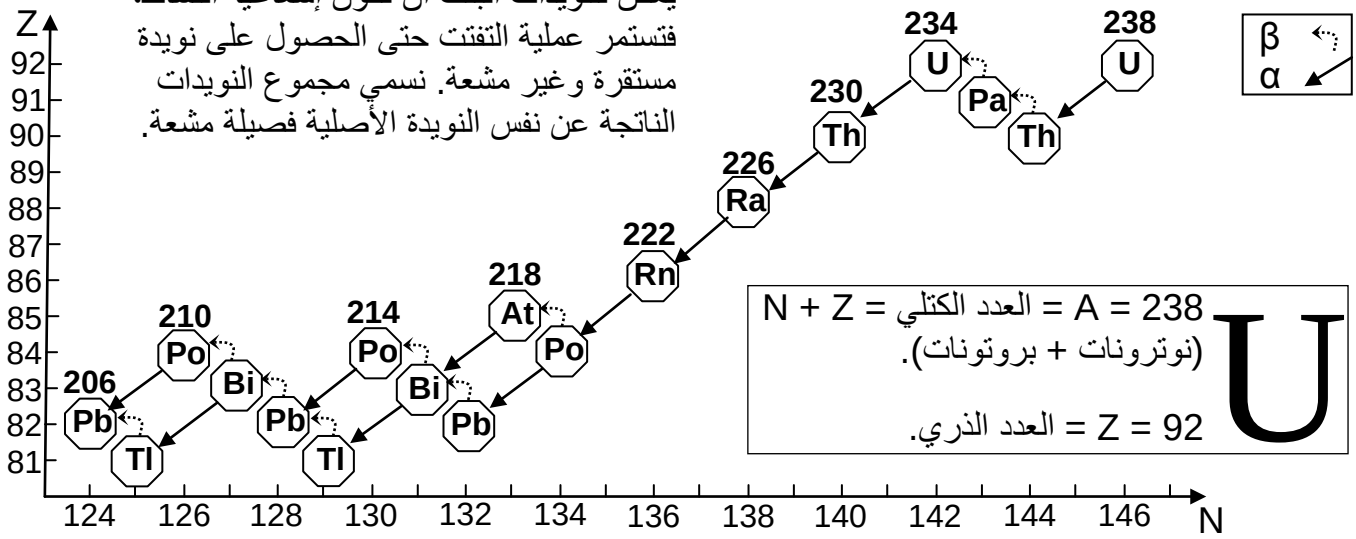
الشكل أ



الشكل ب

النظير	عمر النصف
^{72}Ti	0.2 ثانية
^{131}I	8.04 ثانية
^{39}Ar	269 سنة
^{14}C	5730 سنة
^{238}U	$4.46.10^{9}$
^{90}Th	$1.4.10^{10}$

الشكل ج



Moutamadris.ma

تتفتت تدريجيا النويدات الإشعاعية النشاط (الأم) لتعطي نويدات جديدة (بنت) ويتناقص عدد النويدات مع مرور الزمن وتستمر عملية التفتت حتى الحصول على نويدة مستقرة وغير مشعة، نسمي مجموع النويدات الناتجة عن النويدة الأصلية فصيلة مشعة. مثال الفصيلة المشعة للأورانيوم .

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

ب- الانشطار النووي:

تتم تفاعلات الانشطار النووي في المفاعلات النووية، وذلك بقذف نويدة (غالبا الأورانيوم) بنوترونات حرارية. ويصاحب هذا الانشطار انبعاث إشعاعات (نوترونات) . و إذا كانت ذرات أخرى بجانب الذرات المنشطرة فان 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: أنظر الوثيقة 5.

الوثيقة 5: توظيف المواد المشعة في إنتاج الكهرباء.

لقد أصبحت الطاقة النووية مصدرا مهما للكهرباء في العالم حيث تستجيب لنحو 17 % من الطلب العالمي. وتوجد حاليا زهاء 400 محطة نووية وظيفية عبر العالم.

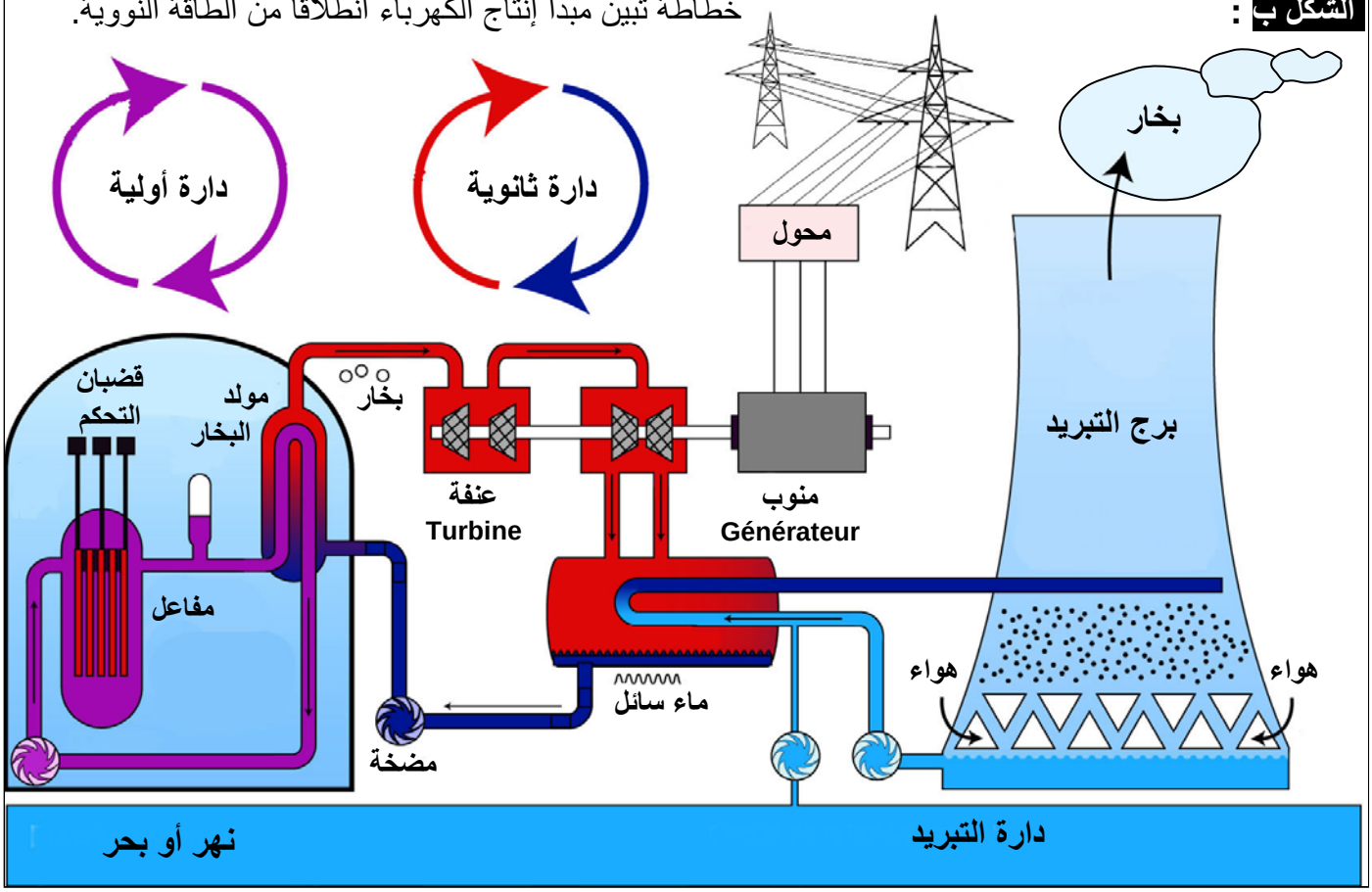
الشكل أ: مدخنات أحد المفاعلات النووية.

الشكل ب: خطاطة تبين مبدأ إنتاج الكهرباء انطلاقا من الطاقة النووية.

انطلاقا من معطيات هذه الوثيقة فسر كيفية إنتاج الطاقة الكهربائية باستعمال الطاقة النووية.

الشكل أ

الشكل ب : خطاطة تبين مبدأ إنتاج الكهرباء انطلاقا 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

Moutamadris.ma

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

② **توظيف المواد المشعة في تأريخ المواد:** أنظر الوثيقة 6.

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

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

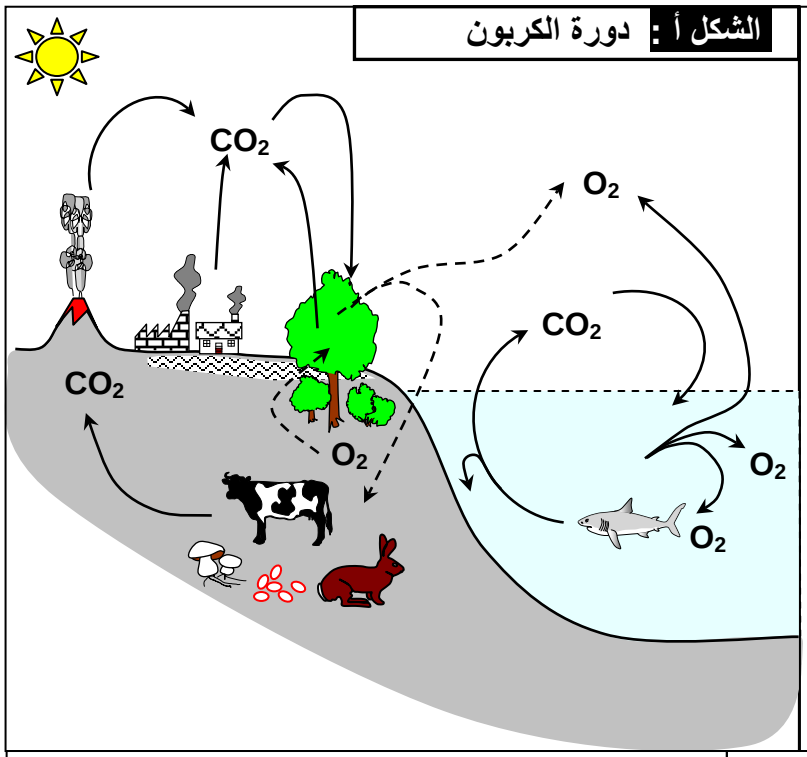
$$^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{14}_{7}C + ^{1}_{1}H$$

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

علما أن عمر النصف للكربون ^{14}C هو 5730 سنة، وبمقارنة النشاط الإشعاعي a المتبقي 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 أ: دورة الكربون

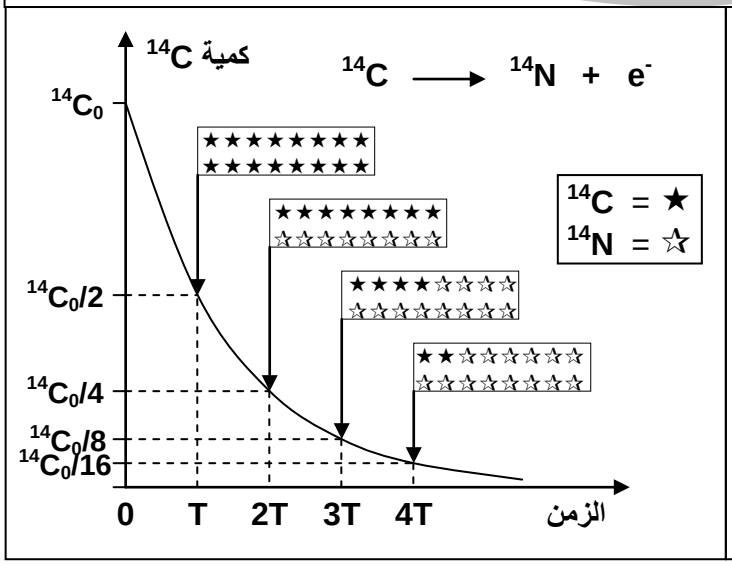


الشكل ب: تغير كمية ^{14}C الذي يتفتت إلى ^{14}N.

عندما يموت كائن حي ينغلق نظامه البيولوجي حيث يتوقف تبادل المواد مع الوسط الخارجي، وهكذا وخلال 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 تأريخ بعض الأجسام.



- يسمح التناقص الإشعاعي لبعض العناصر المشعة الموجودة في الكائنات الحية أو الصخور بتأريخها، وذلك بمقارنة النشاط الإشعاعي المتبقي 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 تأريخ الصخور.

Moutamadris.ma

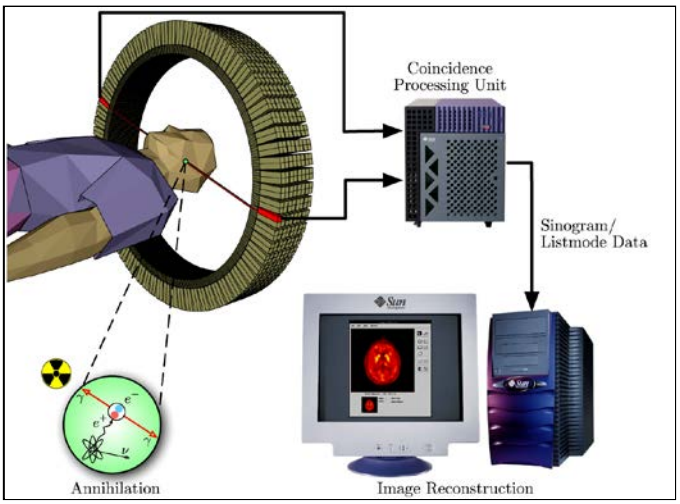
③ توظيف المواد المشعة في الميدان الصناعي والطبي : أنظر الوثيقة 7.

الوثيقة 7: استعمالات أخرى للمواد الإشعاعية النشاط.

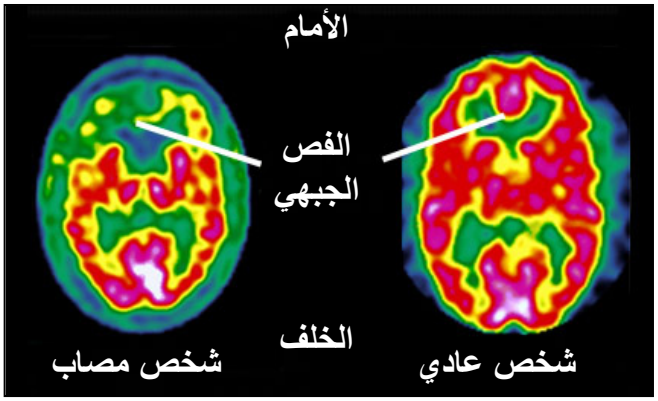
❖ في الميدان الزراعي والصناعات الغذائية:
- تستعمل الإشعاعات γ وأشعة X في تعقيم المواد الغذائية وتمديد مدة حفظها (مثل التوابل). وذلك بمنع تكاثر الجراثيم والحشرات، وكبح إنبات البذور وزيادة مقاومتها للأمراض والطفيليات.
- تستعمل المواد المشعة لتتبع امتصاص بعض العناصر المعدنية ومسارها داخل النبات.

❖ في الميدان الطبي والبحث العلمي:
- يستعمل الايسام بواسطة مواد إشعاعية النشاط لتتبع بعض الجزيئات داخل الخلايا أو الكائن الحي.
- نستعمل الإشعاعات في تشخيص الأمراض وعلاج البعض منها (مثلا السرطان).
- تستعمل المواد المشعة لتعقيم الأدوات الطبية والتي يصعب تعقيمها بواسطة الحرارة أو المواد الكيميائية.

❖ في الميدان الصناعي:
- نستعمل الإشعاعات في الكشف عن العيوب الصناعية، وتقنيات اختبار الجودة.
- نستعمل المواد المشعة كذلك في الصناعات الحربية.



Scintigraphie cérébrale



أ- التعقيم والحفاظ 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. مثلا يستعمل اليود 131 المشع لفحص الغدة الدرقي.
- الفحص بأشعة X الشبيهة بالأشعة γ والتي لها قدرة اختراق 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.

Moutamadris.ma

ج- في البحث العلمي:

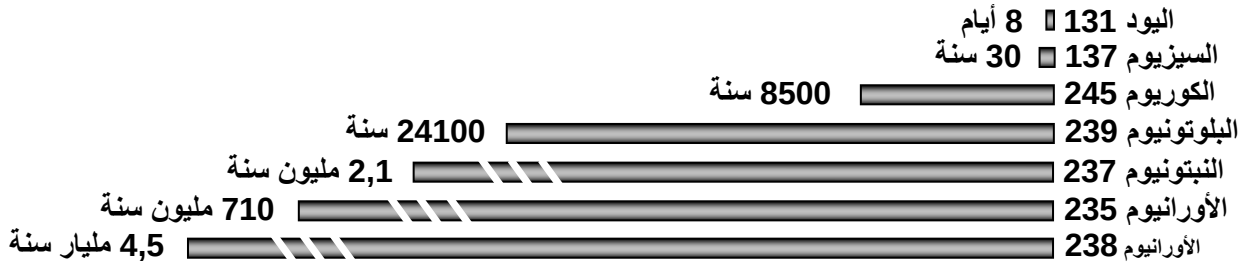
- استعمال الايسام الإشعاعي بواسطة مواد إشعاعية النشاط لتتبع مصير بعض الجزيئات داخل الخلايا.
- استعمال المواد الإشعاعية النشاط في مجال البحث الزراعي وذلك لإحداث التغير الوراثي عند بعض البذور أو النباتات للرفع من المردودية.

III – أخطار التلوث النووي.

① أخطار التلوث النووي على الصحة: أنظر الوثيقة 8.

الوثيقة 8:أخطار التلوث النووي. انطلاقا 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) Becquerel: عدد النوى التي تتفتت في الثانية بالنسبة لعينة إشعاعية النشاط.
- الغراي (Gy) Gray: كمية الإشعاع الممتصة من طرف متعض معرض للإشعاع (1Gy = 1j/Kg).
- السييفرت (Sv) Sievert: 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 الاصطناعية: الفحص الطبي، الأجهزة الالكترونية كالتلفاز والساعات (2mrem/an)، الغبار الناتج عن التجارب النووية (1mrem/an)، ...

(1 mrem = 10^{-5} Sievert)

د – الآثار البيولوجية للإشعاعات النووية:

تؤثر الإشعاعات النووية بنقل طاقتها للجزيئات العضوية. وترتبط خطورة الإشعاع بنوع الإشعاع وشدته وطول المدة التي يتعرض لها الجسم لهذا الإشعاع النووي. (يجب أن لا يتعرض جسم الإنسان لأكثر من 50 mSv في اليوم). أنظر الجدول أمامه

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

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

- يتعرض الإنسان لإشعاعات من مصادر مختلفة (إشعاعات طبيعية، الفحص الطبي الإشعاعي، البحث العلمي، الحوادث النووية ...). ويؤثر الإشعاع على الأنسجة الحية بشكل كبير خصوصا على جزيئة ADN التي تتلف نتيجة تعرضها لكمية كبيرة من الإشعاع، حيث يصعب على الخلية إصلاحها، وقد تحدث بذلك طفرات. كما أنها تؤدي إلى تشوهات خلقية عند تعرض المرأة الحامل للإشعاعات، ويمكن أن تتسبب في العقم.

Moutamadris.ma

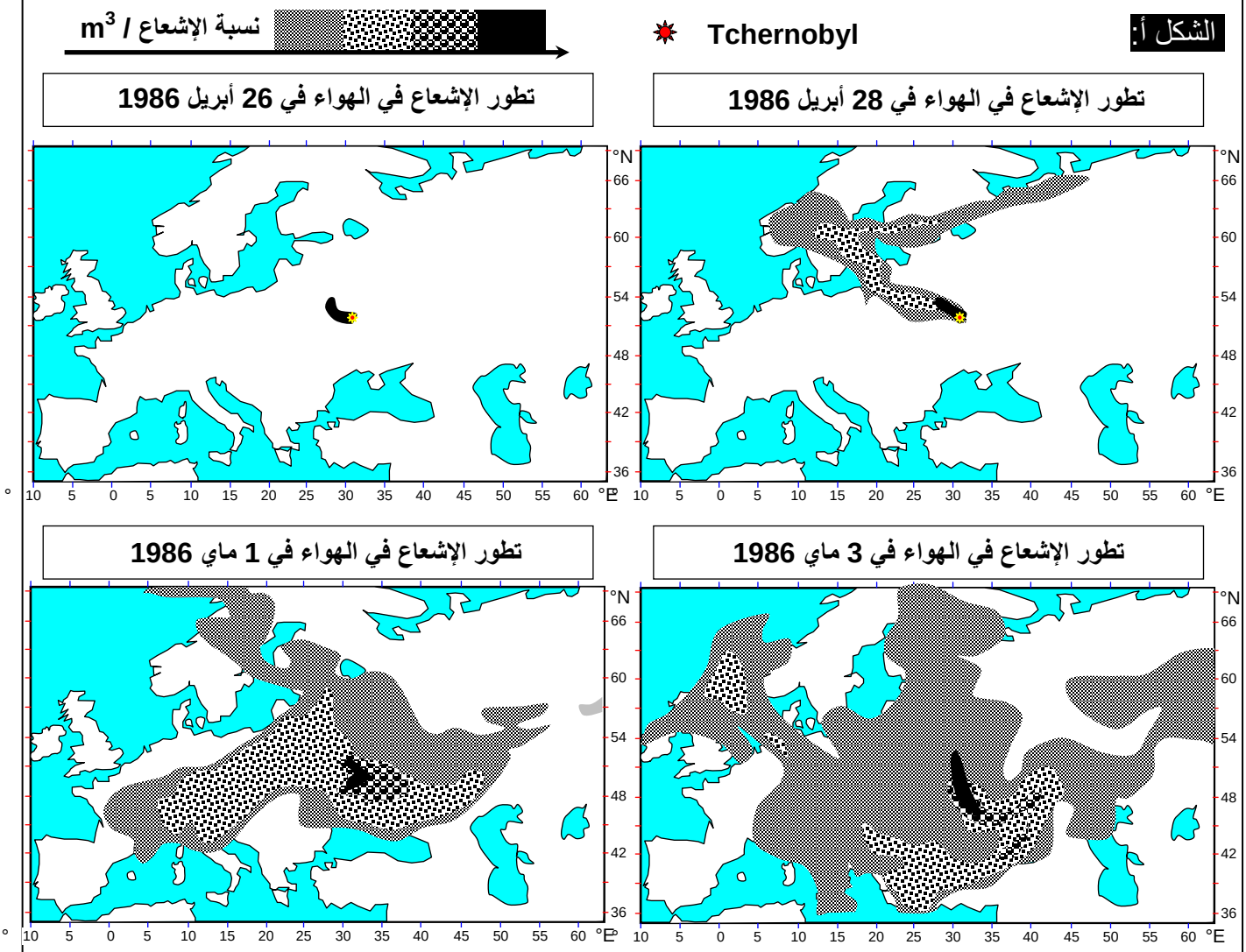
② أخطار التلوث النووي على البيئة: أنظر الوثيقة 9.

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 الأنهار 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 تشرنوبيل في أوكرانيا، ونتج عنه تحطم المفاعل وقذف جزء من قلبه إلى المحيط الخارجي، مما أدى إلى توزيع سحابة إشعاعية النشاط على مجموع أوربا الغربية (الشكل أ).

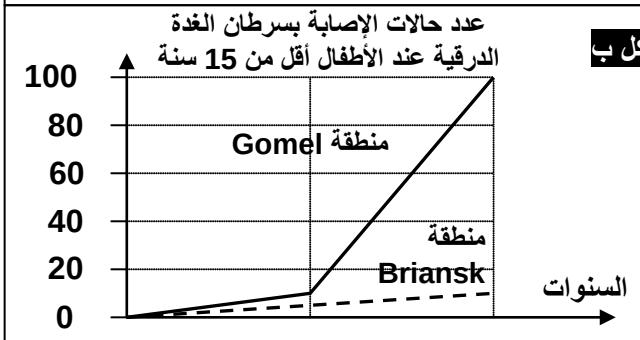
الشكل أ:



من بين العناصر الإشعاعية النشاط المطروحة: اليود 131 الذي يتراكم بالغدة الدرقية، مما يرفع من احتمال الإصابة بسرطان هذه الغدة (الشكل ب).

حلل معطيات الوثيقة واربط العلاقة بين تطور المرض في منطقة Gomel وحادثة تشرنوبيل.

الشكل ب



ينتج عن نشاط المفاعلات النووية والتجارب النووية عدة مواد إشعاعية النشاط، غازية أو صلبة، يتم تحريرها في الجو والأنهار 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 السلاسل الغذائية.

Moutamadris.ma

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.

IV – إشكالية النفايات النووية والبدائل البيئية.

أبرز مشكل يواجه استعمال الطاقة النووية كمصدر للطاقة هو تدبير النفايات النووية الناتجة عن تشغيل المفاعلات النووية. فبقايا الوقود النووي تحتوي على عناصر إشعاعية النشاط، وانتهاء نشاطها الاشعاعي 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 جدا، ناتجة عن تفكيك المفاعلات النووية.
- ❖ الصنف A: نفايات ذات نشاط ضعيف إلى متوسط وعمر قصير، مصدرها معدات المختبرات، المستشفيات والصناعات.
- ❖ الصنف B: نفايات ذات نشاط ضعيف وعمر طويل، مصدرها معدات معالجة الأورانيوم في المحطات النووية.
- ❖ الصنف C: نفايات ذات نشاط مرتفع وعمر طويل يدوم آلاف أو ملايين السنين، مصدرها قلب المفاعل النووي.

② إشكالية تدبير النفايات النووية:

- ❖ النفايات ذات المستوى الإشعاعي المنخفض والعمر القصير: تخضع للمعالجة ثم تطرح في البيئة، حيث أن المعالجة ترتكز 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 للتعليب في قوالب من الاسمنت أو الحديد الصلب غير القابل للتأكسد، 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 مواقع 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. وهكذا فالطاقات المتجددة تعتبر بديلا للطاقة النووية، كالطاقة الكهرومائية، والطاقة الريحية، والطاقة الشمسية... وتتميز هذه الطاقات البديلة بمردودية منخفضة، إلا أن التطور العلمي يمكن أن يرفع من مردوديتها حتى تساعد في تغطية الطلب العالمي المتزايد على الطاقة.

Moutamadris.ma