

عمر نظري و تمارين

التطورات الرتبة ٤

دراسة تحولات نووية



الشعب : علوم تجريبية
رياضيات ، تقني رياضي

www.sites.google.com/site/faresfergani

السنة الدراسية : 2015/2014

المحتوى المفاهيمي : 05

سلسلة تمارين-2 (مستوى 03)

التمرين (01) : (بكالوريا 2008 – رياضيات) (الحل المفصل : تمرين مقترح 44 على الموقع)

توجد عدة طرق لتشخيص مرض السلطان ، منها طريقة التصوير الطبي التي تعتمد على تتبع جزيئات سكر الغلوكوز التي تستبدل فيها مجموعة (OH-) بذرة الفلور 18 المشبع ، يتمركز سكر الغلوكوز في الخلايا السرطانية التي تستهلك كمية كبيرة منه . تتميز نواة الفلور $^{18}_9\text{F}$ بزمان نصف عمر ($t_{1/2} = 110 \text{ min}$) ، لذا تحضر الجرعة في وقت مناسب لحقن المريض بها ، حيث يكون نشاط العينة لحظة الحقن $2.6 \cdot 10^8 \text{ Bq}$.
تتفكك نواة الفلور 18 إلى نواة الأكسجين $^{18}_8\text{O}$.

1- أكتب معادلة التفكك وحدد طبيعة الإشعاع الصادر .

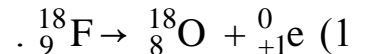
2- بين أن ثابت التفكك λ يعطى بالعلاقة التالية $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$ ، ثم أحسب قيمته .

3- حضر تقنيون التصوير الطبي جرعة (عينة) D تحتوي على $^{18}_9\text{F}$ في الساعة " الثامنة " صباحا لحقن مريض على الساعة "التاسعة" صباحا .

أ- أحسب عدد أنوية الفلور $^{18}_9\text{F}$ لحظة تحضير الجرعة .

ب- ما هو الزمن المستغرق حتى يصبح نشاط العينة مساوي 1% من النشاط الذي كان عليه في الساعة التاسعة ؟

أجوبة مختصرة :



(2) من تعريف زمن نصف العمر و قانون التناقص الإشعاعي :

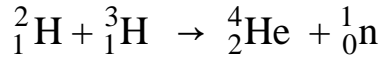
$$t = t_{1/2} \rightarrow N = \frac{N_0}{2} \rightarrow \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \rightarrow -\lambda t_{1/2} = \ln \frac{1}{2} \rightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$$

قيمة λ : $\lambda = 1.05 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

$$\Delta t = 4.38 \cdot 10^4 \text{ s} = 12 \text{ h}, 10 \text{ min} \quad (\text{ب} , N_0 = 3.60 \cdot 10^{12}) \quad (3-أ)$$

التمرين (02) : (الحل المفصل : تمرين مقترح 41 على الموقع)

1- نعتبر تفاعل الاندماج التالي الذي يحدث في الشمس :



أ- أحسب الطاقة المحررة من تفاعل اندماج واحد .

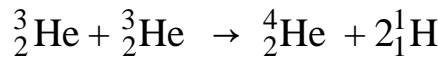
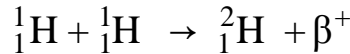
ب- أحسب الطاقة المحررة أثناء تشكل غرام واحد من الهيليوم .

ج- استطاعة الشمس هي $3.9 \cdot 10^{26} \text{ W}$. أحسب ضياع كتلة الشمس في الثانية .

د- تقدر كتلة الشمس بـ $1.99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ و عمرها 4.6 مليار سنة ، بافتراض أن الطاقة المحررة ثابتة منذ نشأتها . أحسب الكتلة التي فقدتها حتى اليوم .

هـ- ما هي النسبة المئوية لهذه الكتلة المفقودة بالنسبة إلى الكتلة الكلية للشمس ؟

2- إن التفاعلات النووية الثلاثة لدورة بروتون-بروتون هي :



أ- أكتب المعادلة النووية الإجمالية لهذه الدورة .

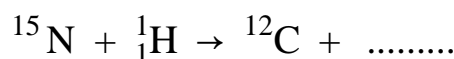
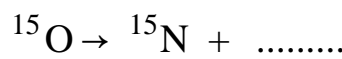
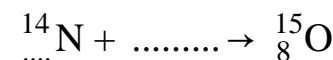
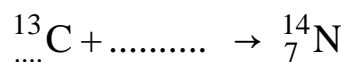
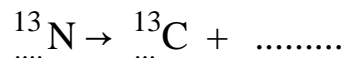
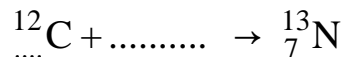
ب- أحسب بـ MeV الطاقة المحررة خلال هذه الدورة .

4- نجد كذلك أنوية الكربون في النجمة . تستخدم هذه الأنوية كنقطة انطلاق لسلسلة أخرى من التفاعلات النووية .

هذه السلسلة من التفاعلات تشكل دورة مغلقة تدعى CNO و هي مكونة من ستة تفاعلات نووية . إن الكربون ${}_{6}^{12}\text{C}$

الذي يستخدم كمفاعل ابتدائي ، يظهر مرة أخرى في نهاية الدورة ، عندما تتشكل نواة الهيليوم He .

أ- أتمم التفاعلات النووية الستة التي تحدث في هذه الدورة .



ب- أثبت أن الحصيلة الكلية لهذه الدورة مساوية لحصيلة دورة بروتون - بروتون المذكورة في السؤال السابق .

المعطيات : $m({}_1^1\text{H}) = 1.0073 \text{ u}$ ، $m({}_1^2\text{H}) = 2.0136 \text{ u}$ ، $m({}_1^3\text{H}) = 3.0155 \text{ u}$

$m(e) = 0.000548 \text{ u}$ ، $m(n) = 1.00866 \text{ u}$ ، $m({}_2^4\text{He}) = 4.0015 \text{ u}$

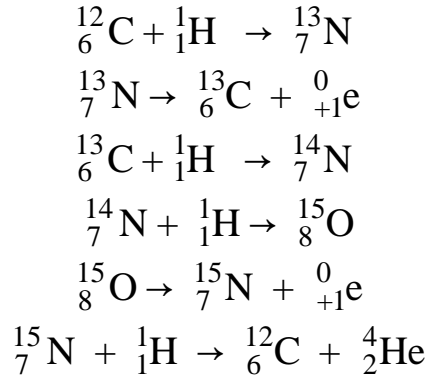
$1 \text{ an} = 365.25 \text{ jours}$ ، $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ، $1 \text{ u} = 931.5 \text{ MeV}/c^2$

أجوبة مختصرة :

1-أ) $E_{lib} = 17.64 \text{ MeV}$ ، ب) $E'_{lib} = 2.65 \cdot 10^{24} \text{ MeV}$ ، ج) $\Delta m = 4.33 \cdot 10^9 \text{ kg}$ ، د) $\Delta m' = 6.28 \cdot 10^{26} \text{ kg}$ ، هـ) $P = 0.03 \%$

2-أ) $4^1_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + 2^0_{+1}\text{e} + 2\gamma$ ، ب) $E_{lib} = 24.8 \text{ MeV}$

3-أ)



ب) $4^1_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + 2^0_{+1}\text{e}$

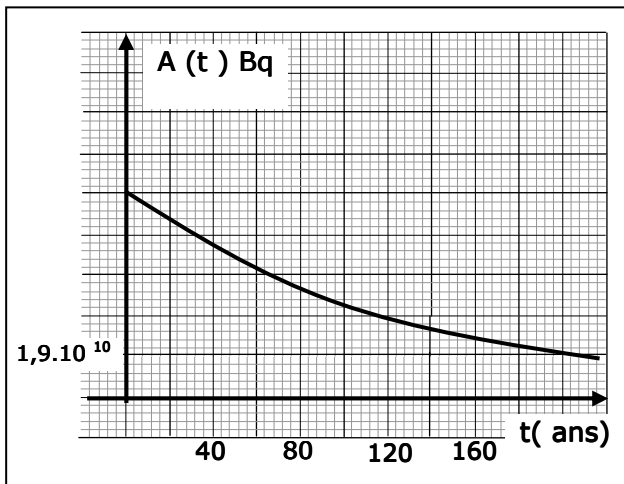
إذن الحصلة الكلية لهذه الدورة مساوية لحصلة الدورة بروتون - بروتون المذكورة في السؤال السابق .

التمرين (03) : (الحل المفصل : تمرين مقترح 43 على الموقع)

المعطيات :

طاقة وحدة الكتلة الذرية : $1\text{u} = 931.5 \text{ MeV} / c^2$ ، $1\text{ans} = 365 \text{ j}$ ، عدد أفوغادرو : $N_A = 6.02 \cdot 10^{23}$

الجسيم	^91Pa	^{92}U	^{93}Np	^{94}Pu	^{95}Am	^{96}Cm	^4_2He
الكتلة (u)	233.99338	233.99048	233.99189	237.99799	233.9957	233.9975	4.00151



المنبه القلبي (le stimulateur cardiaque) جهاز كهربائي يزرع في الجسم ، يعمل على تنشيط العضلات المسترخية في القلب المريض ولضمان الطاقة اللازمة لتشغيله تقاديا لتكرار عملية استبدال البطاريات الكهروكيميائية تستخدم بطاريات من نوع خاص تعمل بنظير البلوتونيوم ^{238}Pu الباعث للإشعاع α وهي (أي البطارية) عبارة عن وعاء مغلق بإحكام يحتوي على كتلة (m_0) من المادة المشعة .

1- أ- ماذا تعني العبارات : مادة مشعة ، الإشعاع α ؟
ب- في نظرك كيف تنتج الطاقة من المادة المشعة كي تضمن اشتغال الجهاز ؟

2- أ- أكتب معادلة تفكك البلوتونيوم .

ب- أحسب الطاقة المحررة من تفكك نواة من المادة المشعة .

3- يعطى المنحنى البياني للتناقص الإشعاعي $A(t)$. (الشكل المقابل)

أ- ما هي قيمة النشاط الابتدائي A_0 عند اللحظة $t = 0$.

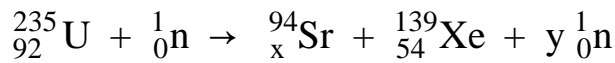
- ب- احسب ثابت التفكك λ بالسنة و بالثانية ، ثم استنتج N_0 عدد الأنوية الابتدائية و كذا قيمة الكتلة الابتدائية m_0 الموافقة .
- 4- عمليا الجهاز يعمل بشكل جيد إلى أن يتناقص نشاط العينة إلى 30% من قيمته الابتدائية . أحسب عندئذ عدد أنوية البلوتونيوم غير المتفككة (المتبقية) .
- 5- المريض الذي زرع له هذا الجهاز وهو في الخمسين من عمره متى يضطر لاستبداله ؟

أجوبة مختصرة :

- 1- أ) تعني مادة مشعة مادة أنويتها غير مستقرة تصدر جسيمات مثل α ، β^- ، β^+ أو إشعاع γ ، الإشعاع α هو نمط من التفكك تصدر فيه النواة المشعة جسم α الذي عبارة عن نواة الهيليوم ${}^4_2\text{He}$.
- ب) تنتج الطاقة من تحويل الطاقة المحررة من التفاعل النووي (تفكك نواة البلوتونيوم) إلى طاقة كهربائية .
- 2- أ) ${}^{238}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{234}_{92}\text{U} + {}^4_2\text{He}$ (ب ، $E_{\text{lib}} = 5.6 \text{ MeV}$ ، $A_0 = 9.5 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$ (أ-3 ،
- ب) $N_0 = \frac{A_0}{\lambda} = 3.89 \cdot 10^{20}$ ، $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = 7.7 \cdot 10^{-3} \text{ ans}^{-1} = 2.44 \cdot 10^{-10} \text{ s}^{-1}$
- ب) $N_{(30)} = 1.7 \cdot 10^{20}$ (4 ، $m_0 = \frac{M \cdot N_0}{N_A} = 0.15 \text{ g}$
- 5) $t = 156.4 \text{ ans}$ ، عمر المريض إن عاش : $t = 50 + 156.4 = 206.4 \text{ ans}$.

التمرين (04) : (الحل المفصل : تمرين مقترح 45 على الموقع)

- عندما يتم استخراج اليورانيوم U من باطن الأرض تكون نسبة النظير ${}^{238}\text{U}$ في عينة منه كبيرة جدا مقارنة مع النظير ${}^{235}\text{U}$ و هذا الأخير (${}^{235}\text{U}$) لا تتعدى نسبته في العينة القيمة 0.7% .
- تخصيب اليورانيوم معناه رفع نسبة النظير 235 في العينة إلى أكبر قيمة ممكنة .
- يتم التخصيب بواسطة أجهزة تدعى أجهزة الطرد المركزي حيث يتم بواسطة هذه الأجهزة إيصال نسبة النظير ${}^{235}\text{U}$ إلى حوالي 20 % و هذا عند استعمال اليورانيوم المخصب في المجال السلمي كتوليد الطاقة الكهربائية ، كما يمكن بنفس الأجهزة إيصال النسبة إلى حوالي 90% عند استعمال اليورانيوم المخصب في المجال العسكري كاستعماله في صناعة القنبلة النووية .
- يعمل مفاعل نووي لتوليد الطاقة الكهربائية باليورانيوم المخصب بنسبة 37% . وأحد التفاعلات النووية الممكنة في هذا المفاعل هو تفاعل الانشطار النووي المنمذج بالمعادلة التالية :



- 1- أوجد x ، y في المعادلة النووية ثم أكمل المعادلة .
- 2- أحسب ب MeV الطاقة المحررة من هذا التفاعل .
- 3- أحسب ب MeV ثم بالمول الطاقة المحررة من انشطار كتلة $m_0 = 1 \text{ g}$ من اليورانيوم المخصب الذي يحتوي على 37% من اليورانيوم 235 كما ذكرنا سابقا .
- 4- بمعرفة أن جزءا من الطاقة تضيع داخل المفاعل و لا يتم تحويلها إلى كهرباء و أن المفاعل يستهلك 27 طن من

اليورانيوم المخصب سنويا و أنه ينتج 900MW ، نعرف المردود η للمفاعل النووي بالعلاقة : $\eta = \frac{P}{P_0} \times 100$ حيث : P_0 هي الاستطاعة النووية الناتجة عن الانشطار ، P هي الاستطاعة النووية المحولة إلى طاقة كهربائية .

أ- أحسب ب MW الاستطاعة الناتجة عن الانشطار .

ب- أوجد مردود المفاعل النووي .

نذكر : الإستطاعة الناتجة بالواط W هي الطاقة الناتجة بالجول J في الثانية ، الاستطاعة المحولة هي بالواط W هي الطاقة المحولة بالجول J في الثانية

المعطيات : $m(^{94}_{38}\text{Sr}) = 93.89451 \text{ u}$ ، $m(^{235}_{92}\text{U}) = 234.99345 \text{ u}$ ، $m(^{139}_{54}\text{Xe}) = 138.88917 \text{ u}$
 $N_A = 6.02 \cdot 10^{23}$ ، $1 \text{ ans} = 365.25 \text{ s}$ ، $1 \text{ u} = 931.5 \text{ MeV}/c^2$ ، $m(n) = 1.00866 \text{ u}$

أجوبة مختصرة :

$$^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{94}_{38}\text{Sr} + ^{139}_{54}\text{Xe} + 3^1_0\text{n} , x = 38 , y = 3 \quad (1)$$

$$E_{\text{lib}} = 179.3 \text{ MeV} = 2.87 \cdot 10^{-11} \text{ J} \quad (2)$$

$$E'_{\text{lib}} = 1.7 \cdot 10^{23} \text{ MeV} = 2.72 \cdot 10^{10} \text{ J} \quad (3)$$

$$\eta = \frac{P}{P_0} = 0.039 = 3.9 \% \quad (\text{ب} , P_0 = 2.31 \cdot 10^{10} \text{ W} = 23200 \text{ MW}) \quad (4)$$

التمرين (05) : (الحل المفصل : تمرين مقترح 46 على الموقع)

إن الأغذية التي نتناولها تحمل لنا البوتاسيوم المشع $^{40}_{19}\text{K}$ الذي يعتبر المصدر الأساسي للنشاط الإشعاعي لجسم الإنسان ، ثابت تفكك البوتاسيوم 40 هو $\lambda = 1.7 \cdot 10^{-17} \text{ s}^{-1}$.

1- أكتب معادلة تفكك نواة البوتاسيوم $^{40}_{19}\text{K}$ علما أن تفككها من النمط β^- و تعطي نواة الكالسيوم $^{40}_{20}\text{Ca}$.

2- إذا علمت أن علبه شوكلاتة تحتوي عند اللحظة $t = 0$ على $44 \mu\text{g}$ بوتاسيوم ، أحسب عدد أنوية $^{40}_{19}\text{K}$ التي تحتويها $44 \mu\text{g}$ من البوتاسيوم عند هذه اللحظة .

3 - عين نشاطها الإشعاعي عند اللحظة $t = 0$ مقدرًا بالبيكريل (Bq) . و ما هو عدد الجسيمات β^- المنبعثة من علبه الشوكولاتة مدة ساعة من الزمن ؟ بفرض أن النشاط يبقى ثابتًا خلال ساعة باعتبار أن فترة نصف العمر لهذا العنصر المشع أكبر بكثير من ساعة .

4 - إن تعرض شخص وزنه 70 Kg لأكثر من 10^{15} من الجسيمات β^- مدة ساعة يمكن أن يعرضه لمخاطر بيولوجية أكيدة . هل استهلاك علبه شوكلاتة يمكن أن يسبب مثل هذه المخاطر من وجهة نظر النشاط الإشعاعي طبعًا ؟ .

يعطى : $N_A = 6.023 \times 10^{23}$

أجوبة مختصرة :

$$^{40}_{19}\text{K} \rightarrow ^{40}_{20}\text{Ca} + ^0_{-1}\text{e} \quad (1)$$

$$N_0 = \frac{N_A \cdot m}{M} = 6.62 \cdot 10^{17} \quad (2)$$

$$N(\beta^-) = 40536 , A = \lambda N_0 = 11.26 \text{ Bq} \quad (3)$$

(4) نلاحظ أن عدد الجسيمات β^- التي يتعرض لها شخص وزنه 70 kg من علبه الشوكولاتة هو 40536 ، هذا العدد بعيد كل البعد على عدد الجسيمات β^- المشكلة للخطر البيولوجي و المقطر بـ 10^5 ، إذن استهلاك الشوكولاتة لا يسبب خطر بيولوجي .

التمرين (06) : (الحل المفصل : تمرين مقترح 47 على الموقع)

يكتسب البوتاسيوم 40 خاصية أنه يتفكك إلى نواتين مختلفتين ، في 89% من الحالات يتفكك إلى الكالسيوم 40 و في 11% من الحالات إلى الأرجون 40 . يوجد نظيران آخران مستقران للبوتاسيوم 40 متواجدان بوفرة أكبر هما البوتاسيوم 41 و البوتاسيوم 39 .

- 1- أكتب معادلة تفكك نواة البوتاسيوم $^{40}_{19}\text{K}$ إلى نواة الكالسيوم $^{40}_{20}\text{Ca}$ ثم معادلة تفكك نواة البوتاسيوم $^{40}_{19}\text{K}$ إلى نواة الأرجون $^{40}_{18}\text{Ar}$ ، بين نمط التفكك في كل مرة .
- 2- يمتلك جسم إنسان وزن 70 kg نشاطا يقدر بـ 8000 Bq سببها تواجد البوتاسيوم 40 في العظام ، ليكن N عدد الأنوية المشعة للبوتاسيوم داخل جسم الإنسان ، عبر عن $N(t)$ بدلالة $t_{1/2}$ و النشاط $A(t)$ للجسم .
- 3- أحسب الطاقة المحررة $(E_{\text{lib}})_1$ بـ MeV الناتجة عن تفكك البوتاسيوم 40 إلى كالسيوم 40 .
- 4- أحسب الطاقة المحررة $(E_{\text{lib}})_2$ بـ MeV الناتجة عن تفكك البوتاسيوم 40 إلى أرجون 40 .
- 5- استنتج الطاقة المحررة E_{lib} بتفكك N نواة للبوتاسيوم 40 الموجود داخل جسم إنسان وزن 70 kg .

المعطيات :

$$m(^{40}\text{K}) = 39.9640 \text{ u} , \quad m(^{40}\text{Ar}) = 39.9624 \text{ u} , \quad m(^{40}\text{Ca}) = 39.09626 \text{ u}$$

$$m_e = 0.000548 \text{ u} , \quad 1 \text{ u} = 931.5 \text{ MeV}/c^2$$

$$t_{1/2} = 1.28 \cdot 10^9 \text{ ans} : \text{ زمن نصف عمر البوتاسيوم 40}$$

$$10 \text{ ans} = 365.25 \text{ jours} : \text{ نعتبر}$$

أجوبة مختصرة :

- (1) التفكك الأول $\leftarrow ^{40}_{20}\text{Ca} + ^0_{-1}\text{e}$ ، التفكك من النمط β^- ، $^{40}_{19}\text{K}$
- التفكك الثاني $\leftarrow ^{40}_{18}\text{Ar} + ^0_{+1}\text{e}$ ، التفكك من النمط β^+ ، $^{40}_{19}\text{K}$
- (2) $N(t) = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} A(t)$ ، $(E_{\text{lib}})_1 = 0.79 \text{ MeV}$ (3 ، $(E_{\text{lib}})_2 = 0.98 \text{ MeV}$ (4 ، $E_{\text{lib}} = 2.36 \cdot 10^{20} \text{ MeV}$ (5

التمرين (07) : (الحل المفصل : تمرين مقترح 48 على الموقع)

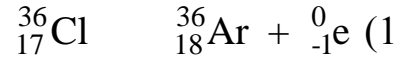
- يوجد في الطبيعة نظيران للكلور هما : $^{35}_{17}\text{Cl}$ الذي يمثل حوالي 75% و $^{37}_{17}\text{Cl}$ الذي يمثل حوالي 25% و نظير ثالث مشع هو $^{36}_{17}\text{Cl}$ الذي يمثل نسبة ضئيلة جدا . نصف عمر هذا النظير $t_{1/2} = 301 \cdot 10^3 \text{ ans}$.
- ينشأ الكلور 36 من انشطار الأنوية الثقيلة بواسطة الإشعاعات الكونية و كذلك بواسطة التفككات الإشعاعية .
- يوجد الكلور 36 في المياه السطحية و يتجدد باستمرار مادامت هذه المياه جارية أو معرضة للجو . لكن بمجرد ركود هذه المياه في جوف الأرض ينقطع تجدد الكلور 36 فيشرع في التناقص .
- صادفت إحدى الشركات المختصة في التنقيب عن المعادن في منطقة دارفور في السودان بحيرة مائية راكدة في جوف الأرض ، و أدى فضول فرقة من العلماء الجيوفيزيائيين إلى معرفة عمر هذه البحيرة . أخذوا حجما من مائها و حجما مساويا من المياه السطحية و قارنوا عدد أنوية الكلور 36 في العينتين . فوجدوا أن عدد أنوية الكلور 36 تساوي 38% من عددها الموجودة في الماء السطحي .
- 1- علما أن الكلور 36 يتفكك إلى الأرجون $^{36}_{18}\text{Ar}$ وفق النمط β^- . أكتب معادلة التفكك .

2- بتطبيق قانون التناقص الإشعاعي أثبت أن : $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$.

3- أوجد عمر البحيرة المائية .

4- اقترح طالب متربص من المجموعة التأكد من عمر البحيرة بواسطة الكربون ^{14}C الموجود في شوارد الكربونات CO_3^{2-} الموجودة بدورها في الماء ، و ذلك بنفس الطريقة السابقة ، مع العلم أن نصف عمر الكربون هو $t_{1/2} = 5.73 \cdot 10^3 \text{ ans}$. رفضت المجموعة ذلك لسبب علمي . ما هو هذا السبب ؟ اشرح .

أجوبة مختصرة :



(3) المياه الجوفية التي يتجدد بها الكلور هي بمثابة المياه الجوفية عند اللحظة $t = 0$ ، و بما أن عدد أنوية الكلور 36 في المياه الجوفية يساوي 38% من عددها الموجود في المياه السطحية يمكن كتابة : $N = \frac{38}{100} N_0$ ، بتطبيق قانون التناقص الإشعاعي ، نجد في النهاية : $t = 4.20 \cdot 10^5 \text{ ans}$.
(4) السبب هو أن زمن نصف عمر الكربون صغير جدا أمام عمر البحيرة .

التمرين (08) : (الحل المفصل : تمرين مقترح 49 على الموقع)

نواة الراديوم $^{226}_{88}\text{Ra}$ نواة مشعة .

1- متى نقول عن نواة أنها مشعة ؟

2- نأخذ في اللحظة $t = 0$ عينة من هذه الأنوية كتلتها $1 \mu\text{g}$ و نقيس نشاطها في لحظتين مختلفتين ، $t_1 = 10 \text{ jours}$ و $t_2 = 20 \text{ jours}$ فنجد على الترتيب : $\ln A_1 = 8.517 \text{ Bq}$ ، $\ln A_2 = 7.937 \text{ Bq}$.
أ- ما المقصود بنشاط عينة .

ب- أكتب دون برهان العلاقة بين زمن نصف عمر عنصر مشع $t_{1/2}$ و ثابت تفككه λ .

ج- عين اللحظة $t_{1/2}$ و النشاط الابتدائي A_0 للعينة .

هـ- عبر عن كتلة الراديوم $^{226}_{88}\text{Ra}$ المتفككة عند اللحظة t بدلالة الزمن t ، زمن نصف العمر $t_{1/2}$ ، الكتلة الابتدائية m_0 ، ثم أحسب قيمة هذه الكتلة عند اللحظة $t = 11.95 \text{ jours}$.
يعطى : $N_A = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

أجوبة مختصرة :

(1) نقول عن نواة أنها مشعة إذا أصدرت إشعاعا و تفككت معطية نواة بنت أكثر استقرارا .

(2- أ) نشاط عينة هو عدد التفككات التي تصدرها النواة المشعة في وحدة الزمن ، أي عدد التفككات في الثانية و تقاس بالبيكريل Bq .

ب) $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ ، ج) $t_{1/2} = \frac{-\ln 2 (t_2 - t_1)}{\ln A_2 - \ln A_1} = 11.95 \text{ jours}$ ، $A_0 = \frac{\ln N_A \cdot m_0}{t_{1/2} \cdot M} = 1.79 \cdot 10^9$.

د) $m = m_0 e^{-\lambda t}$ ، $m = 5 \cdot 10^{-7} \text{ g} = 0.5 \mu\text{g}$.