

الفصل الثاني/ النشاط الإشعاعي

(1-1) التركيب النووي والقوى النووية

* **تعريف:-** تتألف الذرة بشكل أساسي من تركيبين هما: البروتون (Proton) والنيوترون (Neutron) كما هو مذكور في الفصل الأول حيث:

عدد البروتونات = العدد الذري Z (Atomic number).

عدد النيوترونات = N .

العدد الكتلي $A = N + Z$.

ويرمز للبروتون والنيوترون بالصيغة النووية الآتية:

1_1H نواة ذرة الهيدروجين = البروتون.

1_0n = النيوترونات.

ولأي عنصر مثل X يرمز له نووياً بدلالة العدد الذري والعدد الكتلي وعدد النيوترونات كمايلي:

$${}^A_ZX^N$$

* هناك نوعان من الخواص في النواة:

1- الخواص الثابتة: مثل الكتلة، الحجم، الشحنة، الزخم الزاوي، الذاتي (البرم).

2- الخواص المتغيرة: مثل النشاط الإشعاعي.

الكتل الذرية (Atomic Masses)

- تحتوي نواة الذرة على جميع كتلتها تقريباً وهذا ما بينته الأجهزة المستخدمة لقياس كتلة النواة والذي يطلق عليه جهاز محلل الكتلة

(Mass spectrometer).

- أن الوحدات المستعملة لتعبير عن كتلة النواة تسمى وحدة الكتلة الذرية (atomic mass unit) أو ($a. m. u$) بدلاً من (kg) المتعارف عليه في قياس الكتلة حيث أن:

$$1a.m.u = 1.6604 \times 10^{-27} kg$$

- هناك علاقة ترابط بين الكتلة والطاقة موضحة بالنظرية النسبية هي:-

$$E = mc^2$$

حيث يرمز الحرف (E) إلى الطاقة والحرف (c) إلى سرعة الضوء وتساوي وحدة كتلة ذرية واحدة ($1a.m.u$).

$$1a.m.u = 1.9929 \times 10^{-10} J = 931.481 Mev$$

مثال:-/ كتلة النيوترون بوحدة ($a.m.u$) تساوي ($1.00866 a.m.u$) بينما كتلة البروتون بوحدة ($a.m.u$) تساوي ($1.00728 a.m.u$).
وأن كتلة الكربون الأكثر وجوداً ($1.200 a.m.u$).

مصطلحات:-

- 1- النظائر: هي نوى عنصر واحد تختلف في عدد النيوترونات ومتساوية في العدد الذري ~~(ب)متساوية في عدد البروتونات~~ وبالتالي تكون النظائر مختلفة في العدد الكتلي:
أمثلة: $\leftarrow {}^{15}_8O, {}^{16}_8O, {}^{17}_8O, {}^{18}_8O, \dots$
- * الذرات المختلفة بالكتلة لنفس العنصر تدعى بالنظائر كما هو مذكور أعلاه والنويدات هي نواة كل من النظائر التي تعود لعنصر واحد.
- * يمكن استعمال معدل الكتلة لنظائر العنصر في بعض الحسابات الكيميائية ويسمى ((متوسط الكتلة)).
- * على سبيل المثال للهيدروجين ثلاث نظائر فقط.
- وكتل نظائر الهيدروجين هي: (1.009 a.m.u) ، (2.014 a.m.u) ، أو $(1.6725 \times 10^{-27} \text{ kg})$.
- 2- الايزوتونات (Isotones): عناصر نووية متساوية في (N) .
- 3- الايزوبارات (Isobars): عناصر نووية متساوية في (A) .
- 4- الايزومير (Isomer): عناصر نووية في حالة متهيجة وذات نصف عمر طويل نسبياً ويرمز لها بوضع علامة (*) مثل ${}^A_Z X^*$ ويزال هذا التهيج عادة بانبعاث أشعة كاما.
- 5- النيوكلون (Nucleon): تعبير يشمل البروتون أو النيوترون.
- 6- الميزونات (Mesons): جسيمات ذات كتل تقع بين كتلة الإلكترون والبروتون.
- 7- البوزترون (Positron): إلكترون ذو شحنة موجبة.
- 8- النوية : يطلق اسم نوية (nucleon) على كل من البروتونات والنيوترونات دون تمييز بينهما. وعلى هذا الأساس فإن نواة الذرة تحتوي على عدد (A) من النويات حيث كما هو مذكور سابقاً (A) هو العدد الكتلي ويساوي مجموع عدد البروتونات والنيوترونات.

(1-2) حجم النواة وكثافتها:-

إذا افترضنا أن للنواة شكلاً كروياً فإن حجمها يمكن التعبير عنه بدلالة نصف قطرها، ألا أن النواة ليست كرة واضحة المعالم والحدود. وإنما يمكن تشبيهها بغيمة كروية حجمها يتناسب مع عدد النويات التي تحتويها. وكثافتها تقريباً ثابتة ولكنها تبدأ بالانخفاض قريباً من السطح. ويعرف نصف قطر النواة على أنه المسافة بين مركز النواة والنقطة التي تنخفض عندها الكثافة إلى مقدار نصف قيمتها في المركز.

وقد ثبت أن نصف قطر النواة يتناسب طردياً مع الجذر الثالث للعدد الكتلي (A) ، أي أن:

$$R \propto A^{1/3}$$

$$R \propto R_0 A^{1/3} \quad \text{أذن}$$

حيث أن (R_0) ثابت التناسب وقيمته ثابتة تقريباً لكل النوى ومقدارها $(1.2 \times 10^{-15} \text{ m})$.

$$(1) \dots \text{أذن } (R = 1.2 \times 10^{-15} A^{1/3} \text{ mater})$$

وما يجب ذكره أن شكل النواة ليس كروياً في بعض النوى فقد يكون لبعضها شكلاً كروياً مشوهاً أو بيضاوياً، ألا أننا سنعتبر شكلها كروياً منتظماً لإعراض هذا الفصل وعليه فإن حجم النواة هو:-

$$\text{Volume} = V = \frac{4}{3} \pi R^3 \dots (2)$$

وبتعويض قيمة (R) من المعادلة (1) في المعادلة (2) وقيمة (π) نحصل على:

$$V = \frac{4}{3} \times 3.14 \times (1.2 \times 10^{-15} A^{1/3})^3$$

$$V = (7.258 \times 10^{-45} A) m^3 \longrightarrow \text{أو وحدة متر}^3$$

أن النواة تحتوي على عدد (A) من النويات، وحيث أن كتلة النوية الواحدة تساوي ($1.66 \times 10^{-27} \text{kg}$)، فإن كتلة النواة يمكن التعبير عنها بدلالة (A) كمايلي:-

$$\text{كتلة النواة} = (1.66 \times 10^{-27} A) \text{kg}$$

$$\text{وبما أن الكثافة } (\rho) = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$$

$$\rho = (1.66 \times 10^{-27} A) \text{kg} / (7.258 \times 10^{-45} A) m^3$$

$$\rho = 2.29 \times 10^{17} \text{kg} / m^3$$

$$\rho = 2.29 \times 10^{11} \text{kg} / \text{cm}^3$$

وهذا الرقم يكافئ مائتين وتسعة وعشرين مليون طن في السنتمتر المكعب الواحد، وهو ثابت تقريباً لكل النوى فتصور كم هي هائلة كثافة النواة. ولهذا السبب نقول أن كتلة الذرة تتركز معظمها في النواة.

قد يكون من غير المناسب استعمال وحدة المتر لقياس الأبعاد النووية، لذا تستخدم غالباً وحدة تسمى (الفيرمي) بدلاً من ذلك، والفيرمي الواحدة يساوي (10^{-15}m) ويرمز له اختصاراً (فيم fm)، وعلى هذا الأساس يمكن إعادة كتابة المعادلة (1) بالصيغة التالية:

$$R = 1.2 A^{1/3} \text{fm} \dots (3)$$

وتستخدم المعادلة أعلاه لإيجاد نصف قطر النواة إذ علم عددها الكتلي حيث نجد على سبيل المثال أن نصف قطر الأوكسجين ($^{16}_8\text{O}$) يساوي:-

$$\begin{aligned} R &= 1.2 A^{1/3} \\ &= 1.2 \times (16)^{1/3} \\ R &= 3.024 \text{fm} \end{aligned}$$

خلاصة:-

$$1 \text{fm} = 10^{-15} \text{m}$$

(1-3) الطاقة الترابطية للنواة

قد يتبادر إلى الذهن أن كتلة النواة تساوي مجموع كتل الدقائق التي تتكون منها، ألا أن الحقيقة ليست كذلك، وإنما هناك فرق ضئيل ذو نتائج مهمة جداً، فنواة الليثيوم ^7_3Li مثلاً تتكون من 3 بروتونات و4 نيوترونات، ويكون:

$$\begin{aligned} 3 \times 1.007825 \text{ a.m.u} &= \text{مجموع كتل (3) ذرات هيدروجين } ^1_1\text{H} \text{ أو } P \\ &= 3.023475 \text{ a.m.u} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4 \times 1.008665 \text{ a.m.u} &= \text{مجموع كتل (4) نيوترونات} \\ &= 4.03466 \text{ a.m.u} \end{aligned}$$

$$\text{أذن } 7.058135 \text{ a.m.u} = \text{مجموع كتل الدقائق}$$

$$\text{كتلة ذرة الليثيوم } ^7_3\text{Li} = 7.016004 \text{ a.m.u} \text{ المقاسة بالأجهزة}$$

$$\text{الفرق في الكتلة} = \text{كتلة ذرة الليثيوم} - \text{مجموع كتل الدقائق}$$

$$\text{الفرق في الكتلة} = 0.042131 \text{ a.m.u} \dots (1)$$

وكما هو مذكور سابقاً.

$$1a.m.u = 931.481Mev$$

يمكن كتابة المعادلة (1) بوحدة Mev

$$39.244Mev = \text{الفرق في الكتلة}$$

أن المثال أعلاه يوضح الفرق بين كتلة نواة الليثيوم ومجموع كتل مكوناتها وهو يكافئ 39.24 Mev، ويدعى هذا الفرق بالطاقة الترابطية للنواة والتي يمكن تعرفها بأنها كمية الطاقة التي تتحرر هذا الفرق بالطاقة اللازمة لتفتيت هذه النواة إلى مكوناتها الأساسية من بروتونات ونيوترونات. وعندما يكون هناك عدد Z من البروتونات وعدد N=A-Z من النيوترونات، فإن كمية الطاقة المتحررة محسوبة بوحدة (Mev) إنشاء اتحادها هي:

$$931.46Mev \times [Z \times \text{كتلة البروتون واحد} + (Z - A) \times \text{كتلة نيوترون واحد} - \text{كتلة الذرة}]$$

$$B_{tot} = [(Z \times m_p) + (N \times m_n) - M] \times 931.46Mev$$

الطاقة الترابطية الكلية للنواة
كتلة الذرة المعطاة
مجموع الكتل المنفردة

أن الطاقة الترابطية الكلية للنواة تزداد بزيادة عدد النويات المكونة لها كما هو موضح في المعادلة أعلاه.

الطاقة الترابطية للنوية الواحدة:-

وهناك كمية مهمة جداً تدعى بالطاقة الترابطية للنوية الواحدة، وهي تمثل حاصل قسمة الطاقة الترابطية الكلية للنواة على عدد النويات المكونة لها.

$$B_{av} = \frac{\text{الطاقة الترابطية الكلية للنواة } B_{tot}}{\text{عدد النويات } A}$$

وتعرف بأنها الطاقة اللازمة لتحرير نوية واحدة من النواة، وتعتبر هذه الطاقة مقياساً لاستقرارية النواة، فكلما كانت كبيرة كانت النواة أكثر استقراراً، وتنشأ هذه الطاقة من تأثير القوة النووية التي تجمع النويات بعضها مع بعض.

مثال:/أن مقدار الطاقة الترابطية الكلية للنواة تساوي 298Mev جد كتلة النظير ($^{35}_{17}C$) بوحدة a.m.u.

$$A = Z + N \quad \text{عدد النويات (العدد الكتلي)}$$

$$P = Z = 17 \quad \text{عدد البروتونات}$$

$$A = 35 \Rightarrow A = P + N \Rightarrow 35 = 17 + N \Rightarrow N = 18$$

$$\text{مجموع الكتل المنفردة} = (M_P \times Z) + (M_N \times N)$$

$$= (1.007 \times 17) + (1.0087 \times 18)$$

$$\text{مجموع الكتل المنفردة} = 35.28 a.m.u.$$

$$298 Mev = \text{الطاقة الترابطية الكلية للذرة}$$

نحول من وحدة طاقة إلى وحدة كتلة وذلك بتقسيم على (931.48)

$$1a.m.u = 931.48Mev$$

$$\text{الطاقة الترابطية الكلية للذرة} = \frac{298Mev}{931.48Mev/a.m.u} = 0.32a.m.u$$

كتلة الذرة - مجموع الكتل المنفردة للنويات = الفرق في كتلة النظير أو الذرة

$${}^{35}_{17}C \text{ كتلة النظير } = (35.2 - 0.32)a.m.u. \\ = 43.96 a.m.u.$$

مثال:/ كتلة ${}^{20}_{10}Ne$ تساوي $(19.9924)a.m.u$ جد طاقة الترابطية للذرة بوحدة Mev .

$$Z = P = 10$$

$$A = 20$$

$$A = P + N$$

$$20 = 10 + N \Rightarrow N = 10$$

$$\text{مجموع الكتل المنفردة} = (1.007 \times 10) + (1.0087 \times 10)$$

$$= 10.078 + 10.87$$

$$\text{مجموع الكتل المنفردة} = 20.165 a.m.u$$

$$\therefore \text{كتلة النظير} = 19.9924 a.m.u$$

$$\text{النقصان بالكتلة} = (20.165 - 19.9924) a.m.u$$

$$\text{النقصان بالكتلة} = 0.1726 a.m.u$$

$$\text{الطاقة المكافئة} \times \text{النقصان في الكتلة} = \text{الطاقة الترابطية الكلية للذرة}$$

$$\text{الطاقة الترابطية الكلية للذرة} = 0.1726 a.m.u \times 931.48 \frac{Mev}{a.m.u.}$$

$$\text{الطاقة الترابطية الكلية للذرة} = 160.7734 Mev$$

الطاقة اللازمة توفرها لتجمع النويات بعضها مع بعض لتكوين النوى.

مثال:/ إذا علمت أن كتلة ذرة ${}^{16}_8O$ المتعادلة هي $(15.9949)\mu$ ما معدل طاقة ترابط كل نوية في ${}^{16}_8O$ ؟

$$Z = P = 8 \text{ و } A = 16 \text{ و } A = P + N \Rightarrow 16 = 8 + N$$

$$N = 8$$

$$\text{مجموع الكتل المنفردة} = 8 \times 1.007 + (8 \times 1.008) = 16.12 a.m.u$$

$$\text{مجموع الكتل المنفردة} = 16.12 a.m.u$$

$$\text{كتلة النظير} - \text{مجموع الكتل المنفردة} = \text{النقصان بالكتلة}$$

$$= 16.12 - 15.9949$$

$$\text{النقصان بالكتلة} = 0.1251 a.m.u$$

$$\text{النقصان بالكتلة} \times \text{الطاقة المكافئة} = \text{الطاقة الترابطية الكلية للذرة}$$

$$\text{الطاقة الترابطية الكلية للذرة} = 93148 Mev/a.m.u \times 0.1251 a.m.u$$

$$= 116.52818 Mev$$

$$\text{معدل طاقة الترابطية للنوية الواحدة} = \frac{\text{الطاقة الترابطية لكلية للذرة}}{A} = \frac{116.52818}{16}$$

$$\text{معدل طاقة الترابط للنوية الواحدة} = 7.28 Mev$$

مثال:/ إذا كان معدل طاقة الربط للنوية الواحدة ولعنصر $^{20}_{10}\text{Ne}$ هو (نوية / Mev) احسب كتلة النيوترون.
إذا علمت أن كتلة النواة تساوي 19.99218a.m.u

$$\left. \begin{aligned} \text{طاقة الترابط الكلية} \\ \text{طاقة الترابط الكلية} \\ \text{طاقة الترابط الكلية} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \text{ملاحظة} \\ Z=10 \\ A=20 \\ N=20-10=10 \end{aligned}$$

$$\text{معدل طاقة الربط لنوية} = \frac{\text{طاقة الترابط الكلية}}{A}$$

$$8\text{Mev} = \frac{\text{طاقة الترابط الكلية}}{20}$$

$$\begin{aligned} \text{طاقة الترابط الكلية} &= 160\text{ Mev} \\ \text{النقصان بالكتلة} \times \text{الطاقة المكافئة} &= \text{طاقة الترابط الكلية} \\ \text{النقصان بالكتلة} &= \frac{160\text{Mev}}{931.48\text{Mev/a.m.u}} \\ \text{النقصان بالكتلة} &= 0.171719\text{a.m.u.} \\ \text{كتلة النظير} - \text{مجموع الكتل المنفردة} &= \text{النقصان بالكتلة} \\ 0.171769656 + 19.99218 &= \text{مجموع الكتل المنفردة} \\ &= 20.16395\text{a.m.u} \\ \text{مجموع الكتل المنفردة} &= N \times M_N + Z \times M_P \\ 20.163952\text{a.m.u} &= 10M_N + 10 \times 1.007 \\ M_N &= 1.0093\text{a.m.u} \end{aligned}$$

القوى النووية:

تعتبر القوة النووية أقوى قوة معروفة في الطبيعة حتى الآن وهي تلعب دوراً أساسياً في الربط بين النويات الموجودة داخل النواة ومن خواصها أنها قوة تجاذبية ومشبعة ويظهر تأثيرها ضمن حدود معينة وتتحول إلى قوة تنافرية عندما تكون المسافة بين النويات قريبة جداً. وهي لا تعتمد على شحنة النويتين المتأثرتين ولكنها تعتمد على اتجاه البرم النسبي للنويتين المتأثرتين.

مثال:/ تتكون نواة نظير الهيدروجين ^3_1H من نيوترونين وبروتون واحد، وتتكون نواة نظير الهيليوم ^3_2He من بروتونين ونيوترون واحد. أحسب الطاقة الترابطية لكلتا النويدتين مقدرة بوحدات Mev. ثم ماذا تستنتج من الفرق في مقدار الطاقة الترابطية بين النويدتين ؟ علماً بأن كتلة $^3_1\text{H} = 3.01605\text{a.m.u}$ ، وكتلة $^3_2\text{He} = 3.01603\text{a.m.u}$. ويمكن حساب الطاقة الترابطية الكلية باستخدام المعادلة:-

$$\text{الطاقة الترابطية الكلية للنواة} = [\text{كتلة الذرة} - (Z \times m_p) + (Z - A)m_n] \times 931.46\text{Mev}$$

a- بالنسبة للنوييدة ^3_1H ، $(Z - A) = 2$ ، $Z = 1$.

$$\begin{aligned} \text{الطاقة الترابطية الكلية لـ } ^3_1\text{H} &= [(1 \times 1.00728) + (2 \times 1.00866) - 3.01605] \times 931.46\text{Mev} \\ &= 7.9639\text{ Mev} \end{aligned}$$

b- بالنسبة للنوييدة ^3_2He فإن $Z = 2$ ، $(Z - A) = 1$ وعليه فإن

$$\begin{aligned} \text{الطاقة الترابطية الكلية للذرة} &= [(2 \times 1.00728) + (1 \times 1.00866) - 3.01603] \times 931.46\text{Mev} \\ \text{الطاقة الترابطية الكلية للذرة } ^3_2\text{He} &= 6.697\text{ Mev} \end{aligned}$$

أذن:-

$Mev. (7.9639 - 6.697) =$ الفرق في الطاقة الترابطية بين النويدتين

$1.2669Mev. =$ الفرق في الطاقة الترابطية بين النويدتين

وهو مقدار قليل ويمثل النقص في الطاقة الترابطية للنويـدة 3_2He الناتج من جـراء تنافر البروتونين في النويـدة. ومن ذلك يمكن أن تستنتج أن طاقة التنافر الكولومية بين البروتونات تقلل من طاقة الترابطية الكلية للنواة.

(2-1) اكتشاف النشاط الإشعاعي (Radioactivity)

لقد قاد اكتشاف الأشعة السينية عام 1895 من قبل رونتجن إلى اكتشاف النشاط الإشعاعي الطبيعي بشكل غير مباشر. فلقد اهتم هنري بكريل باكتشاف الأشعة السينية وأخذ يفتش عن مواد أخرى يمكن أن تطلق الأشعة السينية، فقام بدراسة بعض العناصر التي تبعث وميضاً عقب تعرضها للضوء الاعتيادي، واستخدم لهذا الغرض ملحاً من أملاح اليورانيوم. حيث كان يعرضه لضوء الشمس ثم يضعه على لوح فوتوغرافي وبهذه الطريقة كان يحصل على صورة لملح اليورانيوم على اللوح، وفي يوم غائم وضع بكريل كل أدواته بما فيها أملاح اليورانيوم والألواح الفوتوغرافية في مكان مظلم، منتظر مجيء يوم مشمس لاستئناف تجاربه، وقد كانت دهشته كبيرة حينما وجد أن الألواح الفوتوغرافية قد اسودت بالرغم من عدم تعرض أملاح اليورانيوم لضوء الشمس، وأدرك حينذاك أن أملاح اليورانيوم تطلق أشعة بشكل دائم، لا علاقة لها بتعرضها لضوء الشمس وأن تلك الأشعة السينية.

فقد وجد أن اليورانيوم (${}^{92}U$) يمكن أن يبعث إشعاعات نافذة تؤثر على الصفائح الفوتوغرافية مع تأين الغازات.

وأن هذا الإشعاع الذي يقذف من هذه العناصر يتكون من ثلاثة أنواع:-

a- أشعة ألفا (α) وهي شعاع سهل الامتصاص من قبل المواد.

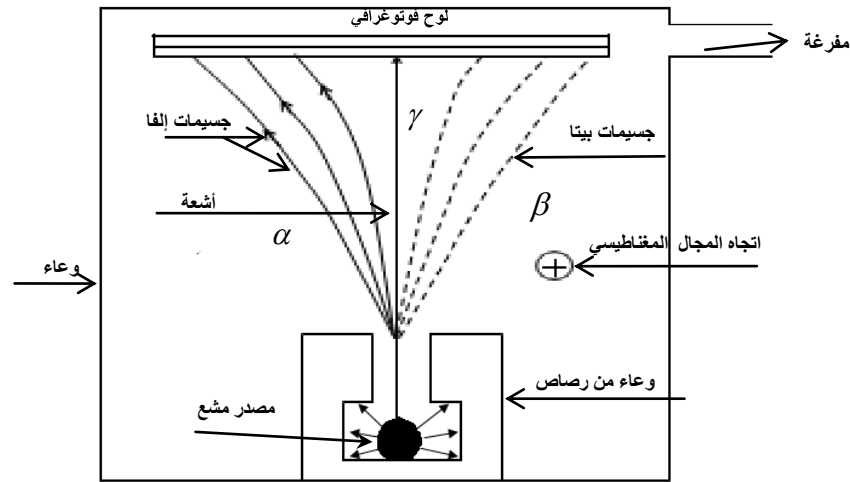
b- أشعة بيتا (β) وهو شعاع ذو قابلية اختراق أكبر للمواد،

c- أشعة كاما (γ) وهو شعاع شديد النفاذية في المواد.

* ولقد تم تحديد طبيعة الشحنة التي تحملها هذه الإشعاعات عملياً من خلال إجراء التجربة التالية لإثبات أن جسيمات ألفا (α) ذات شحنة موجبة وأن أشعة (β) بيتا ذات شحنة سالبة بينما أشعة كاما (γ) فأنها لا تعاني أي انحراف مما يدل على أنها لا تحمل أية شحنة:-

التجربة/

توضع كمية قليلة من مادة ذات نشاط إشعاعي في قعر ثقب ضيق طويل معمول من كتلة رصاصية، الشكل (1) فإن حزمة متوازنة ستنبعث من المادة المشعة خلال ثقب. وهذه الكتلة الرصاصية توضع داخل حجرة مفرغة من الهواء ويوضع لوح فوتوغرافي على مسافة قصيرة من المادة المشعة. وعند تسليط مجال مغناطيسي عمودي على مستوى الورقة فسوف نشاهد ثلاثة خطوط مميزة على اللوح الفوتوغرافي بعد تعرض طفيف وإذا كان المجال المغناطيسي يشير بعيداً عن القارئ فإن جسيمات (α) ستتحرف باتجاه اليسار مما يدل على أنها ذات شحنة موجبة بينما جسيمات (β) فإنها ستتحرف نحو اليمين دلالة على أنها ذات شحنة سالبة أما أشعة كاما (γ) فإنها لا تعاني انحرافاً وتسقط بصورة مستقيمة على اللوح الفوتوغرافي مما يدل على أنها لا تحمل شحنة.



الشكل (1) يمثل النشاط الإشعاعي تحت فيض من مجال مغناطيسي عمودي على سطح الورقة

ملاحظة/

* العناصر ذات النشاط الإشعاعي الطبيعي تقذف الأنواع الثلاثة من الإشعاع (α ، β ، γ) وهذه الإشعاعات لها نفاذية (1، 100، 1000) تقريباً وهي تؤثر في اللوح الفوتوغرافي وتؤين الغازات وتسبب الفلورة لبعض المواد بالإضافة إلى توليد الحرارة وتؤدي إلى بعض التغيرات الكيميائية والتفاعلات النووية التي يتم بواسطتها إحداث النشاط الإشعاعي الصناعي لبعض المواد. كما أن المواد ذات النشاط الإشعاعي الطبيعي تعاني من تحولات مستمرة إلى أن تصل إلى حالة مستقرة غير مشعة.

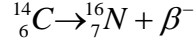
* أن النشاط الإشعاعي لهذه العناصر يتغير كثيراً من جيل إلى آخر من هذه العناصر ولكنه لا يتأثر بالبيئة كدرجة الحرارة والمجالات الكهربائية والمغناطيسية وغيرها.

* تتميز الإشعاعات المنبعثة عن المواد المشعة بالخواص التالية:-

- أشعة ألفا (α): عبارة عن نواة الهليوم (ذرة الهليوم بعد أن فقدت جميع إلكتروناتها الخارجية) لها شحنة موجبة تعادل شحنة إلكترونين. و أنها تمتلك نفس الطاقة عند انبعاثها بغض النظر عن المصدر المولد لها ويملك مداها في الهواء بضعة سنتيمترات واغلبها يمكن إيقافها بصفيحة رقيقة من الألمنيوم.
 - أشعة بيتا (β): هي سيل من الإلكترونات طاقاتها عالية شبيهة بالأشعة الكاثودية ذات سرعة مختلفة وقد تقترب من سرعة الضوء وتستطيع أن تخترق صفيحة الألمنيوم سماكتها بضعة ملليمترات.
 - أشعة جاما (γ): عبارة عن أشعاع كهرومغناطيسي شبيه بالأشعة السينية وهي شديدة الاختراق وتستطيع أن تخترق قطعة من الحديد بسمك (30 cm).
- يجب أن نلاحظ أن مصدر أشعة (γ) هو تغير الطاقة في النواة بينما الأشعة السينية هي نتيجة تغيرات الطاقة الإلكترونية أو الطاقة في الإلكترونات.

(2-2) قانون النشاط الإشعاعي

هناك عدد كبير من النوى غير المستقرة في الطبيعة التي تعاني انحلالاً تلقائياً، يبعث جسيمات ألفا، وجسيمات بيتا السالبة أو الموجبة أو الاسر الإلكتروني. وقد يصاحب هذه العملية انبعاث أشعة جاما أحياناً. أو قد تتحول النواة عن طريق عملية أخرى تدعى بالتحويل الداخلي. والنواة التي تعاني أحد أنواع الانحلال السابقة تتحول إلى نواة عنصر جديد وذلك بسبب التغير الذي يطرأ على عددها الذري (Z). وتسمى النواة التي تعاني انحلالاً. بالنواة إلام، والنواة الناتجة من الانحلال بالنواة الوليدة، فنواة ذرة الكربون $^{14}_6C$ (النواة إلام) مثلاً تعاني انحلالاً يبعث جسيمة بيتا السالبة لتتحول إلى نواة ذرة النيتروجين (النواة الوليدة) وفق المعادلة:



حيث (β^-) يرمز لجسيم بيتا السالب، ويمكن تحويل نوى الذرات غير المشعة إلى نوى ذات نشاط إشعاعي، وذلك بقصفها بنيوترونات أو بروتونات أو بنوى ذرية أخرى.

أن احتمالية انحلال نواة ما. لا تعتمد على حالة النوى المجاورة أو الحالة الكيميائية التي توجد في الذرة، كما أنها لا تتأثر بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية، وإنما هي عملية عشوائية. فكل نواة من مادة مشعة لها احتمالية معينة للانحلال، ولا يمكن بالضبط تشخيص أي من النوى سوف ينحل بعد مرور فترة، ويمكن فقط تحديد عدد النوى التي ستحل بعد مرور فترة زمنية دون تشخيص النوى. فأن كان هناك عدد من النوى (N) من نظير مشع، فأن عدد النوى التي تنحل (dN) بعد مرور فترة زمنية (dt)، تتناسب مع عدد النوى المشعة الأصلية (N)، والفترة الزمنية (dt) أي:-

$$dN \propto N dt \Rightarrow dN = -N\lambda dt \dots\dots(1)$$

حيث أن λ ثابت التناسب ويدعى بثابت التحلل ووحداته هي ($1/sec$)، ويعتبر ثابت التحلل من خواص العنصر المشع أي أن لكل نظير عنصراً مشعاً ثابتاً تحلل خاص به. يختلف في قيمته عن ثابت التحلل لنظير مشع آخر، وقيمه لا تعتمد على أي عامل آخر سواء أكان فيزيائياً أم كيميائياً ولا تتغير سواء أكان المصدر المشع على شكل عنصر أم داخل مركب كيميائي. وتشير الإشارة السالبة في المعادلة (1) إلى نقصان عدد النوى المشعة الأصلية.

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \dots\dots(2)$$

وتدعى الكمية (λN) بالنشاط الإشعاعي أو المعدل الزمني لسرعة الانحلال، ويعرف على أنه عدد النوى المنحلة خلال وحدة الزمن. ويمكن كتابة المعادلة (2) بالشكل التالي:-

$$\begin{aligned} \frac{dN}{N} = -\lambda dt &\Rightarrow \int_{N_o}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt \Rightarrow \\ \ln N \Big|_{N_o}^N &= -\lambda t \Rightarrow \ln N - \ln N_o = -\lambda t \Rightarrow \\ \ln \frac{N}{N_o} &= -\lambda t \Rightarrow \end{aligned}$$

معادلة الانحلال (تمثل عدد النوى الغير المنحلة المتبقية)

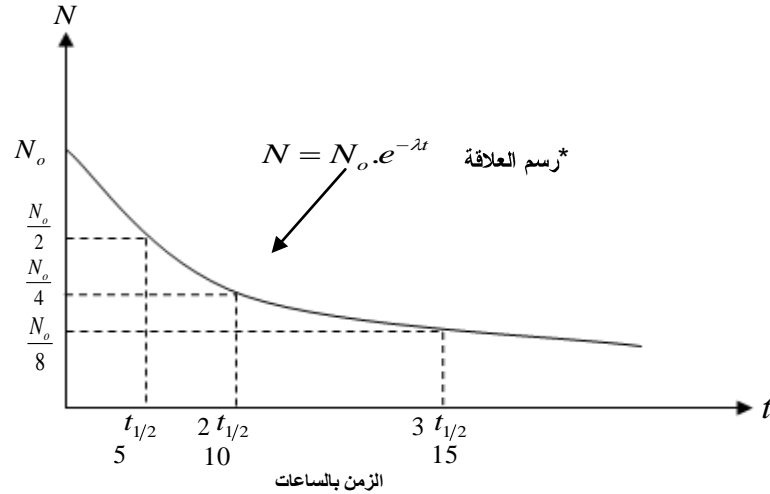
$$N = N_o e^{-\lambda t} \dots\dots(3)$$

N_o : عدد النوى الموجودة (غير منحلة) من نظير المشع عند اللحظة ($t=0$).

N : عدد النوى غير المنحلة من النظير المشع عند اللحظة (t).

λ : ثابت الانحلال النظير المشع (Decay constant).

تدعى المعادلة (3) بقانون النشاط الإشعاعي وهي تبين عدد النوى المشعة يتناقص أسياً مع زيادة الزمن كما هو موضح في الشكل (2).



الشكل (2) يوضح معدل انحلال نظير مشع عمره النصفى خمس ساعات.

(2-3) العمر النصفى:-

هو الفترة الزمنية اللازمة لكي يصبح عندها عدد النوى المنحلة مساوياً إلى نصف عدد النوى الأصلية، ويرمز له بالرمز $(t_{1/2})$ ولكل نظير مشع عمر نصفى خاص به.

ويستفاد من معرفة العمر النصفى في حساب قيمة ثابت التحلل وكمائلي:-

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \dots\dots(4)$$

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \dots\dots(5)$$

فلو فرضنا أن هناك نظير مشعاً عمره النصفى 5 ساعات، فهذا يعني أن عدد النوى المتبقية والتي لم تعاني انحلالاً بعد 5 ساعات هو $(0.5N_o)$ ، أي نصف عدد النوى الأصلية وبعد مرور 10 ساعات يصبح عدد النوى المشعة المتبقية $(0.25N_o)$ وهكذا لاحظ الشكل (2). وعنده مراجعة المعادلة رقم (3) يتبين أن النظير المشع لا ينهي أشعاعه بشكل تام مهما طال الزمن ولكن من الناحية العملية، فإن مرور زمن مقداره عشر مرات بقدر العمر النصفى للنظير المشع يجعله غير ذي فعالية، وهذه الفترة الزمنية تجعل من النشاط الإشعاعي لمصدر يساوي تقريباً $(1/1000)$ من نشاطه الإشعاعي الابتدائي. وعلى هذا الأساس فلا بد من إدخال مفهوم جديد هو، متوسط العمر للذرة الواحدة، الذي يرمز له بالرمز (τ) ويساوي مقلوب ثابت التحلل أو أن:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \dots\dots(6)$$

فإذا كان العمر النصفى معروفاً من نتائج تجريبية يكون بالإمكان حساب متوسط العمر بتعويض قيمة (λ) من المعادلة (6) في المعادلة (5) ويكون:-

$$\tau = \frac{t_{1/2}}{0.693} \dots\dots(7)$$

(2-4) وحدة النشاط الإشعاعي:

لقد عرفنا سابقاً أن النشاط الإشعاعي هو عدد النوى التي تتحلل في وحدة الزمن وهو يساوي حاصل ضرب ثابت التحلل وعدد النوى المشعة الموجودة خلال زمن معين أي أن:

$$R_o = \lambda_o N_o \dots\dots(8)$$

R_o : النشاط الإشعاعي الابتدائي عند زمن يقدر بـ $(t=0)$.

وعند فترة معينة من الزمن تقدر بـ (t) .

فإن النشاط الإشعاعي يصبح:-

$$R = \lambda N \dots\dots(9)$$

ويقاس النشاط الإشعاعي بوحدات الكيوري (Ci)، والذي يعرف أنه عدد الانحلالات التي تحدث في غرام واحد من الراديوم خلال ثانية واحدة وقيمتها تساوي ثانية/ اضمحلال أو انحلال 3.7×10^{10} ، وأجزائه هي:

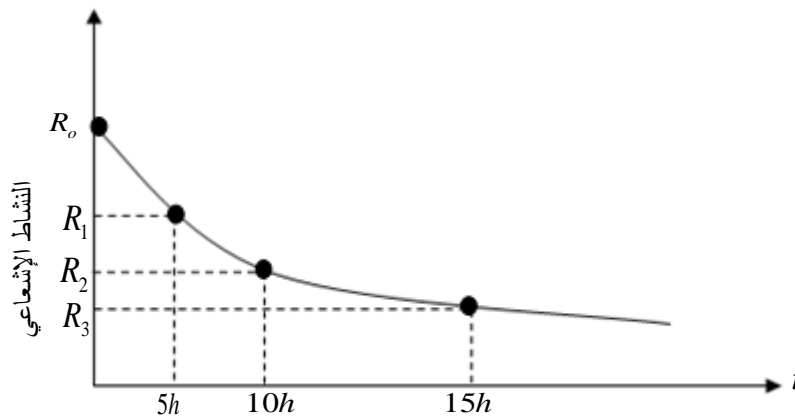
ثانية/ اضمحلال $lm.Ci = 3.7 \times 10^7$ ملي كيوري

ثانية/ اضمحلال $l\mu.Ci = 3.7 \times 10^4$ ميكروكيوري

أو 1 ملي كيوري = 10^{-3} كيوري.

1 ميكروكيوري = 10^{-6} كيوري.

* لقد أثبتت أن النشاط الإشعاعي (R) يتغير أو يتناقص اسياً مع الزمن.



الشكل (3) يبين إذا كان عمر النصف $(t_{1/2} = 5h)$ يكون النشاط الإشعاعي R_1 بينما يكون النشاط الإشعاعي الابتدائي (R_o) عنده $(t=0)$.

* لا يجاد عدد النوى المنحلة إلى النواة الوليدة، أي لا يجاد عدد النوى المنحلة بدلالة عدد النوى الباقية نتبع الخطوات التالية:

N = عدد النوى الباقية بدون انحلال.

N_r = عدد النوى المنحلة.

N_o = العدد الكلي (عدد النوى الغير المنحلة عند اللحظة $t=0$).

(عدد النوى الذرات المنحلة عند اللحظة t) - (عدد النوى الموجودة عند اللحظة $t=0$) = (عدد النوى الذرات الغير المنحلة عند اللحظة t)

$$N = N_o - N_r$$

$$N_o = N_r + N \Rightarrow N_r = N_o - N \Rightarrow$$

$$N_r = N_o - N_o \cdot e^{-\lambda t} \Rightarrow$$

$$N_r = N_o(1 - e^{-\lambda t}) \dots\dots\dots t \text{ اللحظة عند اللحظة}$$

*ملاحظة/

أن (R) : هو النشاط الإشعاعي أو أحيانا يطلق عليه الفعالية.

(R_o) : النشاط الإشعاعي الابتدائي.

* أن (R) يقل بعد فترة لأن الكتلة تقل بعد مرور الزمن أي عدد الذرات المتبقية يقل.

مثال:/ إذا كان لديك 1غم من نظير السترونشيوم $^{90}_{38}Sr$ المشع، عمره النصفى 28 سنة. فإذا عملت أن السنة تساوي 3.15×10^7 ثانية، فأحسب:

1- نشاط الإشعاعي الابتدائي.

2- متوسط عمره.

3- نشاطه الإشعاعي بعد مرور 14 سنة.

الحل:

1-

$$\lambda = \frac{0.693}{t_{1/2}} \Rightarrow \lambda = \frac{0.693}{28 \times 3.15 \times 10^7 \text{ sec}}$$

$$\lambda = 7.87 \times 10^{-10} \text{ 1/sec}$$

عدد الذرات في (1kg) من السترونشيوم ($^{90}_{38}Sr$) = عدد افكادروا / عدد الكتلي.

$$= \frac{6.02 \times 10^{26}}{90} = 6.7 \times 10^{24} \text{ ذرة}$$

$$= 6.7 \times 10^{21} \text{ ذرة}$$

$$\text{أذن:-} \frac{6.7 \times 10^{24} \text{ ذرة}}{1000} = \text{عدد الذرات من (1gm) من السترونشيوم}$$

$$= 6.7 \times 10^{21} \text{ ذرة}$$

وعليه فأن:-

(عدد ذرات السترونشيوم عنده اللحظة $t=0$) \times ثابت الحل = النشاط الإشعاعي الابتدائي.

$$R_o = \lambda N_o$$

$$= 7.86 \times 10^{-10} \text{ 1/sec} \times 6.7 \times 10^{21}$$

$$= 5.26 \times 10^{12} \text{ ثانية/انحلال}$$

$$R_o = 5.26 \times 10^{12} / 3.7 \times 10^{-10}$$

$$R_o = 142.3 \text{ Ci}$$

متوسط العمر -2

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

$$\tau = \frac{1}{7.86 \times 10^{-10}} = 12.7 \times 10^8 \text{ sec}$$

$$\tau = 40.3 \times \text{year}$$

نشاطه الإشعاعي بعد مرور (14) سنة -3

نحسب أولاً عدد النوى المشعة بعد مرور (14) سنة (أي بعد $10^7 \times 3.15 \times 14$ $4.4 \times 10^8 \text{ sec}$)
بما أن

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$= 6.7 \times 10^{21} \times e^{-7.86 \times 10^{-10} \times 4.4 \times 10^8}$$

$$N = 4.74 \times 10^{21} \text{ ذرة}$$

أذن النشاط الإشعاعي بعد مرور 14 سنة = ثابت التحلل \times عدد النوى المشعة المتبقية بعد مرور 14 سنة.
 $R = \lambda N = 4.74 \times 10^{21} \times 7.86 \times 10^{-10}$

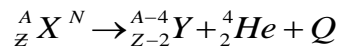
$$= 3.7 \times 10^{12} \text{ ثانية/انحلال}$$

$$= 3.72 \times 10^{12} / 3.7 \times 10^{10}$$

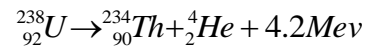
$$R = 100.6 \text{ Ci}$$

ملاحظات/

1- انحلال ألفا (Alphadecay)

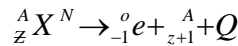


مثال/

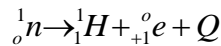


حيث أن (4.3Mev) هي الطاقة اللازمة لكي ينحل ويتحرك بها جسيم ألفا.

2- انحلال بيتا السالبة (e^-):-

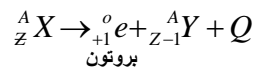


وفيه تحاول النواة أن تصل إلى حالة الاستقرار عن طريق تحول نيوترون أو أكثر داخل إلى بروتون ونتيجة تحول النيوترون عديم الشحنة إلى بروتون موجب ينطلق إلكترون خارج النواة ويبقى البروتون داخلها.

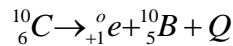


حيث Q: طاقة الانحلال.

3- انحلال بيتا الموجبة (e^+):-



النواة تفقد شحنة موجبة (بروتون)



ولكي تبقى الشحنة ثابتة تفقد الذرة إلكترون فبالنواة تفقد إلكترون واحد بينما الذرة تفقد إلكترونين.

4- انحلال كاما: أن النوى الايزوميرية المتهيجة يمكن دائماً أن تتحلل إلى حالة أوطى من الطاقة انبعاث أشعة (γ). ففي أبسط انحلال التي تكون فيها الحالة الابتدائية هي مستويات طاقة البروتون مثلاً فإن الانحلال هو انتقال البروتون من مستوى أعلى للطاقة إلى مستوى أوطى لذلك يتوجب حصول إعادة ترتيب النيوكليونات في النواة.

عند حدوث تحلل كما تزيل النواة حالة التهيج العالية من خلال انبعاث دقيقة ثقيلة كلما كان ذلك ممكناً بقدر تعلق الأمر بالطاقة.
ملاحظة/

1- عندما تكون الطاقة أقل من طاقة التحلل أي طاقة ارتباط النيوترون أو النيوكليون أو دقيقة ألفا فإن عملية إزالة التهيج يمكن أن يتم من خلال انحلال كما ويهبط في هذه العملية النواة إلى حالة تهيج أوطى أو إلى الأرضية حيث تحسب طاقة (γ) وفقاً للمعادلة الآتية:-

$$E_{\gamma} = h_{\gamma} = \frac{hC}{\lambda_{\gamma}} = \frac{1239.8}{\lambda_{\gamma}} \text{Mev}$$

حيث (λ_{γ}) مقاسة بالفيرمي.

2- لقد لوحظ انبعاث دقائق ألفا من النوى التي يكون فيها العدد الكتلي A أكبر من ($A=150$) على أن يكون العدد الذري أكبر من (82)
عدا نواة مشعة طبيعية واحدة هي نواة السماريوم $^{147}_{62}\text{Sm}$.

الأجهزة المستخدمة للكشف عن الإشعاع:-

1- الألواح الفوتوغرافية.

2- الأنابيب الكهروضوئية المضاعفة.

3- عدادات رجيكا - مولر.

4- حجرة التأين.

5- حجرة السحاب.

6- الحجرة الفقاعية.

7- العدادات الومضية.

س/ اكتب اثنين من الأجهزة المستخدمة للكشف عن الإشعاع ومجالات تطبيقاتها.

ملاحظة:-

$$1 \mu\text{gm} = 10^{-6} \text{gm} = \text{واحد مايكرو غرام}$$

$$1 \text{kgm} = 1000 \text{gm} = \text{كليو غرام}$$

$$1 \text{mgm} = 10^{-3} \text{gm} = \text{واحد ملي غرام}$$

$$1 \text{Mgm} = 10^{+6} \text{gm} = \text{واحد ميكاغرام}$$

$$1 \text{Ggm} = 10^{+9} \text{gm} = \text{جيكاغرام}$$

مثال:/ لو افترضنا أن ذرة احد العناصر يرمز لها $^{36}_{17}\text{X}$ لها كتلة تساوي (35.230 a.m.u) بوحدة الكتلة النووية، وقد أسقطت أشعة
كما على غاز من هذا العنصر.

a- جد طاقة أشعة كما التي تستطيع أن تحلل هذه الذرة مكوناتها الأولية.

b- ما هو الطول الموجي لأشعة كما الذي يفترض أن يحلل ذرة الغاز؟

$$^{36}_{17}\text{X} \quad (A=36), (Z=17)$$

$$N = A - Z \Rightarrow N = 36 - 17$$

$$(N=19)$$

$$\text{مجموع الكتل المنفردة} = [N \times m_N + P \times m_P]$$

$$= [19 \times 1.008 + 17 \times 1.007]$$

$$= 19.15 + 17.119$$

$$= 36.271 \text{ a.m.u}$$

$$\text{كتلة لنظير } {}^{36}_{17}\text{X} \times \text{الطاقة} = \text{طاقة الترابط}$$

$$= 931.48 \frac{\text{Mev}}{\text{a.m.u}} \times 1.041 \text{ a.m.u}$$

$$\text{طاقة الترابط} = 969.67068 \text{ Mev}$$

وأن طاقة الترابط هي الشغل (الطاقة) المصروف أو المبذول لتفكيك النواة إلى مكوناتها وهنا هي طاقة أشعة كاما التي أدت إلى تفكيك النواة أدن هنا طاقة الترابط طاقة أشعة.

$$969.67068 \text{ Mev} = \text{طاقة الترابط} = \text{طاقة أشعة كاما} \therefore$$

$$\text{تحويل طاقة أشعة كاما من وحدات ميكيا } \text{ev} \leftarrow \text{Joul}$$

$$969.67068 \text{ Mev} = \text{طاقة أشعة كاما} \therefore$$

$$= 969.67 \times 10^6 \text{ eV} \times 1.6 \times 10^{-19} \frac{\text{Joul}}{\text{eV}}$$

$$\text{طاقة أشعة كاما التي تحلل الذرة إلى مكوناتها الأولية} \Leftarrow 1551.473 \times 10^{-13} \text{ Joul} = \text{طاقة أشعة كاما}$$

ملاحظة: أن أشعة كاما حزمة من الفوتونات هي:-

$$\text{طاقة الفوتون} = \gamma.h$$

$$\gamma.h = \text{طاقة أشعة كاما} \therefore$$

$$1551.473 \times 10^{-13} \text{ J} = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.sec} \times \gamma$$

$$\therefore \gamma = 234.008 \times 10^3 \text{ Hz}$$

$$C = \lambda.\gamma \therefore \text{سرعة الضوء}$$

$$3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{sec}} = 234.008 \times 10^3 \lambda$$

$$\lambda = 0.0128 \times 10^5 \text{ m} \therefore \text{الطول الموجي}$$

أسئلة الفصل الثاني

- س1/ أحسب نصف قطر وحجم وكثافة كل من النوى التالية: ^{12}C ، ^{110}Ag .
- س2/ أحسب مقدار الطاقة الترابطية للنيوترون في نواة الليثيوم 7Li مقدرة بوحدة $a.m.u$ ، ووحدة Mev إذا علمت أن كتلة ذرة الليثيوم تساوي $7.016004a.m.u$.
- س3/ عمر النصف لنظير ^{60}C هو (5.3) عام، في كم عام يصبح غرام واحد من هذا النظير $(\frac{1}{100} gm)$.
- س4/ عنصر معين ذو نشاط إشعاعي له فترة عمر نصف مقدارها (20 day).
- a- كم يستغرق من الوقت لكي تتحلل ثلاثة أرباع الذرات الموجودة أصلاً.
- b- كم من الوقت يستغرق ليبقى (1/8) من الذرات الموجودة أصلاً بدون تغير.
- س5/ ما هو ثابت الانحلال ومتوسط عمر عنصر النصف له 30 يوماً.
- س6/ ثابت الانحلال لكل من اليورانيوم والراديوم والرادون على التوالي هو:-
 $\Rightarrow 4.9 \times 10^{18} sec^{-1}$, $1.37 \times 10^{11} sec^{-1}$, $2.09 \times 10^{-6} sec^{-1}$
 احسب معدل العمر وعمر النصف لهذه النوى.
- س7/ 10 ملي غرام من مادة مشعة عمر النصف لها عامان حفظت لمدة اربعة اعوام كم بقي من المادة.
- س8/ إذا علمت أن عمر النصف لغاز الرادون ^{222}Rn هو 3.83 يوماً وكثافته هي $(10^{-2} gm/cm^3)$.
- جد a- حجم الغاز اللازم لجعل نشاطه الإشعاعي (10Ci).
- b- متوسط عمر الرادون.
- س9/ عنصر ^{27}Na له عمر نصف مقداره (14.96 hr) أحسب :-
- a- ثابت الانحلال بالثانية.
- b- الفعالية لعنصر الصوديوم الحادي على $(5 \times 10^9 atoms)$.