

النوى ، الكتلة والطاقة Noyau ,masse et énergie

I _ التكافؤ "كتلة _ طاقة"

1 _ علاقة إنشتاين

توصل العالم إنشتاين من خلال الميكانيك النسبوية الخاصة سنة 1905م إلى أن هناك تكافؤ بين الكتلة والطاقة .

تمتلك كل مجموعة كتلتها m ، في حالة سكون ، طاقة E تسمى طاقة الكتلة تعبيرها هو :

$$E = m.c^2$$

$c \approx 3.10^8 m/s$ سرعة الضوء

m كتلة المجموعة نعبر عنها ب kg

E طاقة المجموعة نعبر عنها بالجول .

عندما تتغير كتلة المجموعة ب Δm خلال تحول ما ، يكون تغير الطاقة الكتلية لهذه المجموعة هو :

$$\Delta E = \Delta m.c^2$$

$\Delta m < 0$ (تنقص كتلة مجموعة في سكون) ، طاقتها الكتلية تنقص كذلك $\Delta E < 0$: **تحرر المجموعة في هذه الحالة طاقة تمنحها للوسط الخارجي . ($Q > 0$)**

$\Delta m > 0$ (تزداد كتلة مجموعة في سكون) ، طاقتها الكتلية تزداد كذلك $\Delta E > 0$: **تكتسب المجموعة في هذه الحالة طاقة من الوسط الخارجي . ($Q < 0$)**

2 _ وحدة الكتلة والطاقة

أ _ وحدة الكتلة الذرية

في الفيزياء النووية ، تكون كتل النوى والدقائق صغيرة جدا ، لذا يعبر عنها بوحدة ملائمة تسمى وحدة الكتلة الذرية ونرمز لها ب u

$1u$ يساوي $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة الكربون 12

نعلم أن كتلة مول واحد من ذرات الكربون 12 تساوي $12.10^{-3}kg$ ويحتوي 1 مول على $N=6,02.10^{23}$ ذرة أي أن :

$$1u = \frac{1}{12} \frac{12.10^3}{6.03.10^{23}} = 1,66.10^{-27} kg \text{ وبالتالي } 1u = 1,66.10^{-27} kg$$

مثال : كتلة البروتون

$$m_p = 1,6725.10^{-27} kg$$

$$m_p = \frac{1,6725.10^{-27}}{1,66.10^{-27}} = 1,0073u$$

ب _ وحدة الطاقة : الإلكترون _ فولط

في الفيزياء النووية الجول وحدة غير ملائمة للطاقة ، لذلك يفضل استعمال الإلكترون _ فولط ومضاعفاته كالميغا إلكترون _ فولط (MeV) .

$$1 eV = 1,602177 \times 10^{-19} J$$

$$1 MeV = 10^6 eV = 1,602177 \times 10^{-13} J$$

ج _ الطاقة المكافئة لوحدة الكتلة الذرية u .

حسب علاقة انشتاين الطاقة التي تكافئ $1u$ هي :

$$E = 1,66054 \times (299792458)^2 = 1,492,42 \times 10^{-13} \text{ J}$$

$$E = \frac{1,492,42 \times 10^{-13}}{1,602177 \times 10^{-13}} = 931 \text{ MeV}$$

$$1u = 931,5 \text{ MeV} / c^2$$

مثال : حساب طاقة الإلكترون : $E = mc^2$ بحيث أن $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ و $E = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^{16} = 81,9 \cdot 10^{-15} \text{ J}$ و $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ فإن $E = 0,512 \text{ MeV}$ نستنتج أن كتلة الإلكترون بوحدة الطاقة الكتلية : $m_e = 0,512 \text{ MeV} / c^2$.

II _ طاقة الربط **Energie de liaison**

2 _ 1 النقص الكتلي .

تبين قياسات دقيقة أنجزت بواسطة معيار الكتلة أن كتلة النواة تكون دائما أقل من مجموع كتل الدقائق التي تكونها .

$$m({}_1^2\text{H}) = 2,0109u : \text{مثال : كتلة نواة الدوتريوم } {}_1^2\text{H}$$

الدقائق المكونة لنواة الدوتريوم $Z=1$ و $N=1$

$$m_p + m_n = 2,0199u : \text{مجموع كتل الدقائق}$$

$$\Delta m = (m_p + m_n) - m({}_1^2\text{H})$$
$$= 0,0050u$$

وبالتالي

نسمي Δm بالنقص الكتلي للنواة .

بصفة عامة : **نسمي النقص الكتلي لنواة Δm الفرق بين مجموع كتل النويات وكتلة النواة وهو مقدار دائما موجب .**

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - m({}_Z^AX)$$

2 _ 2 طاقة الربط

النواة مكونة من بروتونات ذات شحنة موجبة و n نوترونات ذات شحنة منعدمة . يفسر تماسك النواة بوجود قوى نووية ذات شدة كبيرة تسمى بقوى التأثيرات البينية القوية .
لفصل نويات النواة يجب إعطاؤها طاقة ، تسمى بطاقة الربط E_ℓ .

وحسب علاقة التكافؤ بين الكتلة والطاقة لأنشتاين فإن النقص الكتلي لنواة يكافئ الطاقة اللازمة إعطاؤها لفصل نوياتها :

$$Zm_p + (A - Z)m_n = m({}_Z^AX) + E_\ell$$

$$E_\ell = \Delta m c^2 = (Zm_p + (A - Z)m_n - m({}_Z^AX)) \cdot c^2$$

2 _ 3 طاقة الربط بالنسبة لنوية

$$\mathcal{E} = \frac{E_\ell}{A}$$

وحدة \mathcal{E} هي Mev/nucleon

وهي تمثل طاقة الربط المتوسطة لنوية .

• للحكم على مدى استقرار نوية يجب اعتبار طاقة الربط بالنسبة للنوية .

• تكون نوية أكثر استقرارا كلما كانت طاقة الربط بالنسبة للنوية كبيرة .

تمرين تطبيقي :

نعتبر نوية الراديوم ${}_{88}^{226}\text{Ra}$

أحسب طاقة الربط لنوية الراديوم واستنتج طاقة الربط بالنسبة لكل نوية .

نعطي : $m(\text{Ra}) = 225,977u$ و $m_p = 1,00728u$ و $m_n = 1,00867u$ و $1u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} / c^2$$

الجواب : طاقة الربط اللازمة هي الطاقة اللازمة لفصل نويات موجودة في حالة سكون .

$$E_{\ell} = \Delta m \cdot c^2 = [(Zm_p + Nm_n) - m({}_Z^A X)]c^2$$

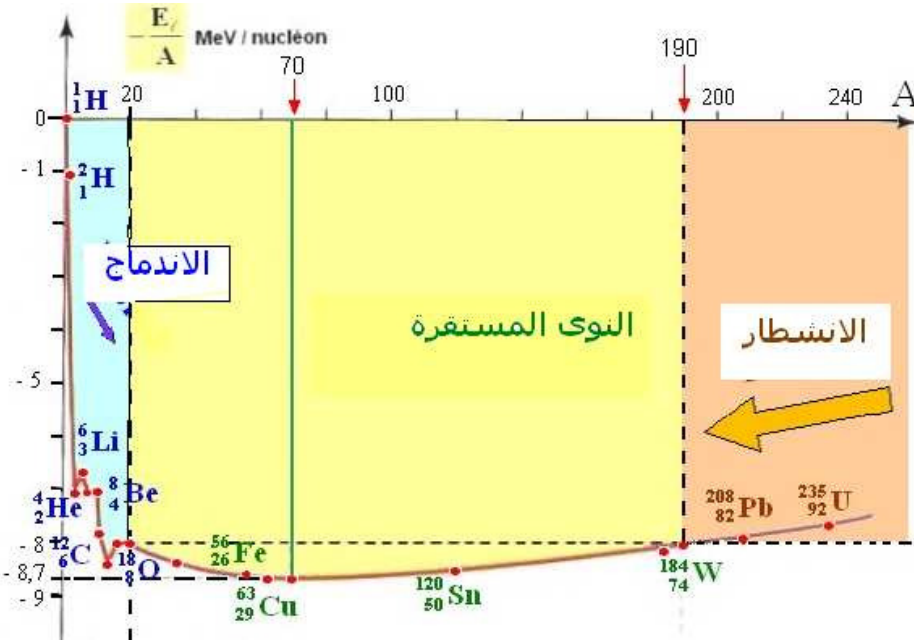
N=226 و Z=88 ومنه فإن

$$E_{\ell} = (88 \cdot 1,00728 + 138 \cdot 1,00867 - 225,977) \cdot 9 \cdot 10^{16} = 2,779 \cdot 10^{-10} \text{ J} = 1736,90 \text{ MeV}$$

$$\mathcal{E} = \frac{1736,90}{226} = 7,68 \text{ MeV} / c^2 \text{ وبالتالي } \mathcal{E} = \frac{E_{\ell}}{A}$$

2 - 4 منحنى أسطون

يمكن مقارنة استقرار مختلف النويدات باستعمال منحنى أسطون ، حيث يمثل تغيرات مقابل طاقة الربط



بالنسبة لنويده $\left(-\frac{E_{\ell}}{A}\right)$ بدلالة

عدد النويات A . أنظر الشكل .

من خلال المنحنى نلاحظ :

• $20 < A < 195$:

$\left(-\frac{E_{\ell}}{A}\right)$ لها قيم دنيا تقارب

قيمها المطلقة $8 \text{ MeV}/c^2$. هذه

المنطقة تظم النوى الأكثر

استقرارا (مثال الحديد Fe هو

النوى الأكثر استقرارا لذا يوجد

بوفرة في الطبيعة .

• $A < 20$ و $A > 195$:

$\left(-\frac{E_{\ell}}{A}\right)$ كبيرة أي أن $\left(\frac{E_{\ell}}{A}\right)$

صغيرة جدا وبالتالي فطاقة الربط بالنسبة لنوية ضعيفة الشيء الذي يبين أن هذه النوى غير مستقرة .

يمكنها أن تتحول إلى نوى أكثر استقرارا .

يمكن لهذه أن تتحول وفق نوعين من التفاعلات النووية :

-- $A > 19$ - النوى الثقيلة غير المستقرة تنشط إلى نواتين خفيفتين . وتسمى هذه الظاهرة

الانشطار النووي .

- $A < 20$ - النوى الخفيفة تتحد فيما بينها لتعطي نواة أكثر ثقلا وتسمى هذه الظاهرة **الاندماج**

النووي .

ملحوظة . الاندماج والانشطار تفاعلات محرّضان .

III - الانشطار والاندماج النوويان Fusion et fission nucléaire

1 - الانشطار النووي :

يمكن لنواة ثقيلة كالأورانيوم أو البلوتونيوم مثلا أن تنقسم ، بعد

قذفها بـ نوترون بطيء (طاقته الحركية أقل من 0,1MeV) إلى

نواتين خفيفتين . يسمى هذا التحول الانشطار النووي ، وتسمى

النوى الثقيلة النوى **الاشطورية fissile** والنوترون القديفة :

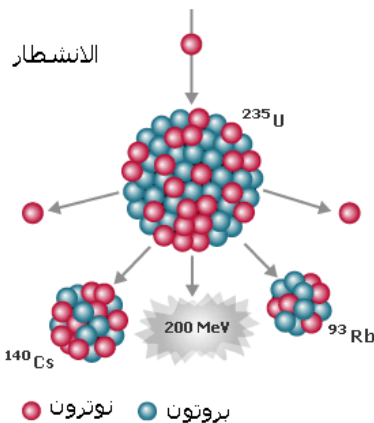
النوترون الحراري .

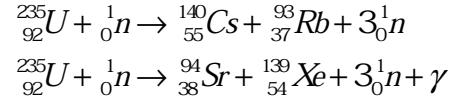
أ - تعريف

الانشطار النووي تفاعل نووي تنقسم خلاله نواة ثقيلة شطورية ،

بعد التقافها لنوترون حراري إلى نواتين خفيفتين .

أمثلة :





ب - تفاعل متسلسل

يمكن لنوترونات الناتجة عن الانشطار النووي أن :

- تفلت من وسط التفاعل .

- أو تلتقها نوى غير شطورة .

أو تتسبب في انشطار نوى أخرى ، مساهمة في حدوث تفاعل متسلسل قد يتم بكيفية تفجيرية ، إذا كان غير متحكم فيه ، وهذا ما يحدث في القنبلة النووية . ويمكن التحكم فيه وضبطه وهذا ما يحدث في المفاعلات النووية حيث ينتج الطاقة بكيفية منتظمة .

ويتحكم في التفاعل المتسلسل في المفاعلات النووية عن طريق امتصاص النوترونات بواسطة قضبان من الكاديوم .

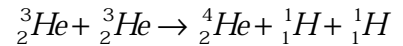
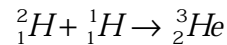
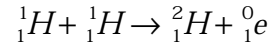
2 - الاندماج النووي .

أ - تعريف

الاندماج النووي تفاعل يتم خلاله انضمام نواتين خفيفتين لتكوين نواة أكثر ثقلا .

أمثلة : تقع تفاعلات الاندماج داخل الشمس حيث يتم خلالها تكون الهيليوم

انطلاقا من الهيدروجين ، وفق ثلاث مراحل :



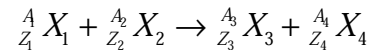
ب - شروط تحقيق الاندماج النووي

لا يتحقق الاندماج النووي إلا إذا كان للنواتين الخفيفتين طاقة تمكنها من التغلب على قوى التأثيرات البينية التنافرية . ويتطلب توفير هذه الطاقة درجة حرارة عالية . ولهذا السبب ينعت الاندماج بالاندماج **النووي الحراري** .

VI - الحصيلة الكتلية والطاقة لتفاعل نووي .

1 - الحالة العامة :

نعتبر تفاعلا نوويا معبرا عنه بالمعادلة التالية :



X_i تدل على نوى عناصر كيميائية أو دقائق .

الحصيلة الطاقة المقرونة بهذا لتفاعل هي :

$$[E_\ell(X_1) + E_\ell(X_2)] = [E_\ell(X_3) + E_\ell(X_4)] + \Delta E$$

$$\Delta E = [E_\ell(X_1) + E_\ell(X_2)] - [E_\ell(X_3) + E_\ell(X_4)]$$

حيث $E_\ell(X_i)$ طاقة الربط للنواة أو الدقيقة X_i . و ΔE طاقة

التفاعل .

حسب تعبير طاقة الربط E_ℓ لدينا :

$$\Delta E = [m(X_3) + m(X_4)].c^2 - [m(X_1) + m(X_2)].c^2$$

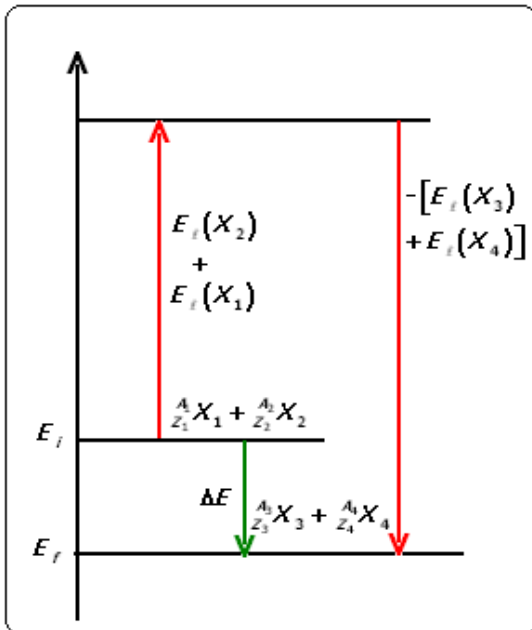
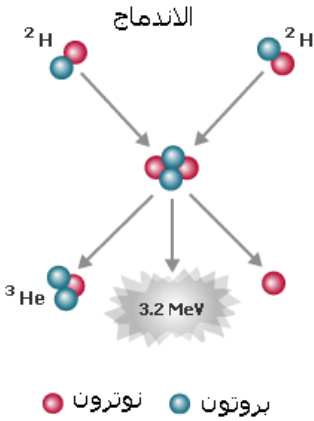
$$\Delta E = [m(X_3) + m(X_4) - m(X_1) - m(X_2)].c^2$$

$$\Delta E = \Delta mc^2 = [m(\text{produit}) - m(\text{reactifs})].c^2$$

ملحوظة : مخطط الطاقة لتفاعل نووي عام :

E_i : الطاقة البدئية للمجموعة

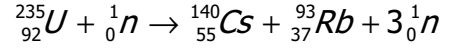
E_f : الطاقة النهائية للمجموعة .



. $E_\ell(X_1) + E_\ell(X_2)$ الطاقة التي تكتسبها المجموعة لتفكيك النواتين .
 $-[E_\ell(X_3) + E_\ell(X_4)]$ الطاقة التي تحررها المجموعة عند تكون النواتين X_3 و X_4 .
 ΔE الطاقة الكلية لهذا التفاعل النووي وبذلك تصبح أكثر استقرارا .
 ملحوظة : الطاقة المحررة خلال تفاعل ناشر للطاقة هي $Q = -\Delta E > 0$

2 - تطبيقات على الانشطار والاندماج النوويين : أ - الانشطار النووي :

نعتبر معادلة الانشطار النووي التالية :



نعطي كتل النوى المتدخلة في هذا التفاعل النووي .

${}_{92}^{235}\text{U}$	${}_{55}^{140}\text{Cs}$	${}_{37}^{93}\text{Rb}$	${}_0^1\text{n}$
234,99346 u	139,88711 u	92,90174 u	1,00866 u

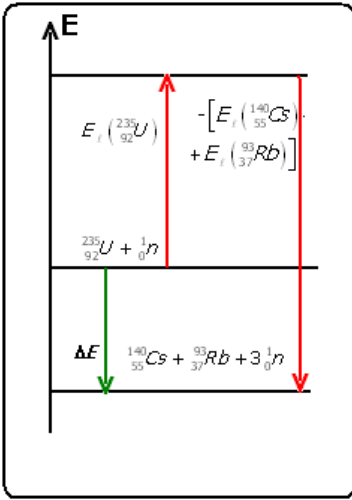
أحسب الطاقة المحررة من طرف نواة واحدة من الأورانيوم .

لدينا حسب تعبير تغير الطاقة : $\Delta E = \Delta m.c^2$
 بحيث أن

$$\begin{aligned} \Delta m &= m_f - m_i \\ &= [m({}_{55}^{140}\text{Cs}) + m({}_{37}^{93}\text{Rb}) + 3m({}_0^1\text{n})] - [m({}_{92}^{235}\text{U}) + m({}_0^1\text{n})] \\ &= [m({}_{55}^{140}\text{Cs}) + m({}_{37}^{93}\text{Rb}) + 2m({}_0^1\text{n}) - m({}_{92}^{235}\text{U})] \\ &= -0,18729\text{u} = -3,1100 \times 10^{-28} \text{kg} \\ \Delta E &= \Delta m.c^2 = -2,7995 \times 10^{-11} \text{J} = -174,699 \text{MeV} \end{aligned}$$

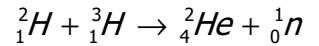
أي أن انشطار نواة واحدة من الأورانيوم تحرر طاقة $Q = -\Delta E$ تساوي
 . 174,699MeV

مخطط الطاقة لتفاعل الانشطار : أنظر الشكل



ب - الاندماج النووي

نعتبر تفاعل الاندماج التالي :



$$\begin{aligned} \Delta E &= \Delta m.c^2 \\ \Delta m &= m_f - m_i = [m({}_2^4\text{He}) + m({}_0^1\text{n})] - [m({}_1^2\text{H}) + m({}_1^3\text{H})] \\ &= -0,18729\text{u} = -3,1100 \times 10^{-28} \text{kg} \\ \Delta E &= \Delta m.c^2 \approx -17,585 \text{MeV} \end{aligned}$$

${}_1^2\text{H}$	${}_1^3\text{H}$	${}_2^4\text{He}$	${}_0^1\text{n}$
2,01355	3,01550	4,00150	1,00866

تفاعل الاندماج يحرق طاقة تقارب 18MeV ، بينما تفاعل الانشطار يحرق طاقة تقارب 200MeV تقريبا .
 فالنسبة لعدد النويات بالنسبة للاندماج النووي 5 نويات وبالنسبة للانشطار النووي 236 نوية أي أنه
 بالنسبة لنوية واحدة الطاقة المحررة بالاندماج أكبر بخمس مرات الطاقة المحررة بالانشطار . (أنظر
 سلسلة التمارين 2)

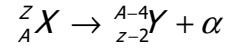
3 - تطبيقات على التحولات النووية التلقائية . ملحوظة مهمة :

$\Delta E < 0$ تكون المجموعة ناشرة للطاقة أي أنها تحرر الطاقة يكتسبها المحيط الخارجي ($Q = -\Delta E > 0$).

$\Delta E > 0$ تكون المجموعة ماصة للطاقة (تكتسب طاقة من المحيط الخارجي ($Q = \Delta E < 0$))
بالنسبة للتفاعلات النووية التلقائية تكون دائما $\Delta E < 0$ ونرمز لها بالحرف E وتظهر هذه الطاقة على شكل طاقة حركية تكتسبها على الخصوص الدقائق المنبعثة خلال التفتت .

أ - النشاط الإشعاعي α

معادلة التفتت α هي :

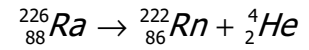
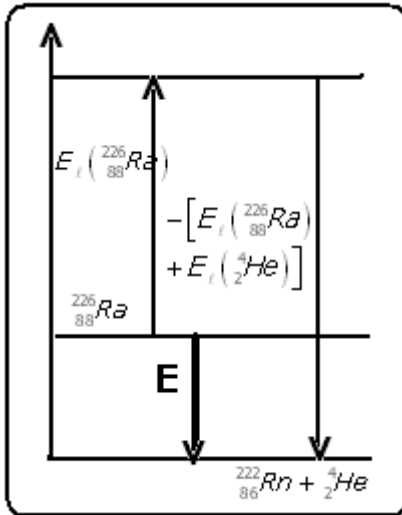


الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي α :

$$E = [m(\alpha) + m({}^{A-4}_{Z-2} Y) - m({}^Z_A X)].c^2$$

تطبيق : أحسب الطاقة الناتجة عن تفتت نواة واحدة من الراديوم ${}^{226}_{88} Ra$. نواة الراديوم إشعاعية النشاط α نعطي :

${}^{226}_{88} Ra$	${}^{222}_{86} Rn$	${}^4_2 He$
225,977u	221,9702	4,0015



ننجز الحصلة الطاقة لهذا التفاعل :

$$E = [m({}^{222}_{86} Rn) + m({}^4_2 He) - m({}^{226}_{88} Ra)].c^2$$

$$= [-5,3 \cdot 10^{-3} u].c^2$$

نعلم أن $1u = 931,5 MeV/c^2$ وبالتالي فإن :

$$E = -5,3 \cdot 10^{-3} \times 931,6 \frac{MeV}{c^2} .c^2 = -4,94 MeV$$

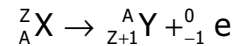
وبالتالي الطاقة المحررة عن هذا التفاعل هي :

$$Q = -E = E_c(\alpha) = 4,94 MeV$$

تكتسبها على الخصوص الدقيقة α .

ب - النشاط الإشعاعي β^-

معادلة التفتت للنشاط الإشعاعي β^-

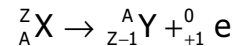


الحصلة الطاقة للنشاط الإشعاعي β^- :

$$E = [m({}^A_{Z+1} Y) + m({}^0_{-1} e) - m({}^Z_A X)].c^2$$

ج - النشاط الإشعاعي β^+

معادلة التفتت للنشاط الإشعاعي β^+



الحصلة الطاقة للنشاط الإشعاعي β^+ :

$$E = [m({}^A_{Z-1} Y) + m({}^0_{+1} e) - m({}^Z_A X)].c^2$$

ملحوظة :

تتحول الطاقة المحررة خلال التفاعلات النووية إلى طاقة حركية للنوى والدقائق الناتجة عن هذا التحول وكذلك إلى طاقة كهرومغناطيسية للإشعاعات γ .

$$Q = -\Delta E = \sum E_c({}^A_Z Y)$$

A_ZY : النوى والدقائق الناتجة عن التحول

V _ التأثيرات البيولوجية للنشاط الإشعاعي .

للإشعاعات النووية تأثير على جسم الإنسان وذلك حسب الكمية التي يمتصها الجسم وبطبيعة الأشعة

- الإشعاعات α تخترق المادة بصعوبة ، إذ تكفي ورقة لإيقافها ، وتحدث حروقا سطحية على الجلد .

- الإشعاعات β أكثر نفاذية من α ، ويلزم عدة مليمترات لإيقافها . تستعمل هذه الإشعاعات لمعالجة الخلايا السرطانية .

- الإشعاعات γ نافذة بقدر كبير ، ولإيقافها يلزم عدة سنتيمترات من الرصاص ، وتستعمل في تشخيص الأمراض بالصور .

تستعمل الإشعاعات النووية في الطب بكميات ضئيلة جدا كعنصر لاستشفاء ولتشخيص الأمراض أو لمعالجتها .

كيف تؤثر الإشعاعات النووية على الإنسان ؟

تتفاعل الإشعاعات النووية ذات الطاقة العالية مع المادة المكونة لجسم الإنسان ، إذ يمكنها انتزاع إلكترونات ذرات خلايا بعض الأعضاء محدثة بعض التشوهات بيوكيميائية .