

الجزء الثاني :
التحولات النووية
الوحدة 2
10 س / 5 س

النوى - الكتلة والطاقة

Noyaux – masse & énergie

بسم الله الرحمن الرحيم
الثانية باكالوريا
الفيزياء



1- التكافؤ " كتلة - طاقة " :

1-1- علاقة أينشتاين :

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

تمتلك كل مجموعة كتلتها ، في حالة سكون ، طاقة E تسمى **طاقة الكتلة** .
تعبيرها هو : $E = m \cdot c^2$ وحدتها هي الجول J حيث c : سرعة الضوء في الفراغ $c = 299792458 \text{ m.s}^{-1} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

تبين هذه العلاقة أنه عندما تتغير كتلة مجموعة بالمقدار Δm خلال تحول ما ، يكون تغير الطاقة الكتلية لهذه المجموعة هو : $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$.

عندما تنقص كتلة مجموعة في سكون ($\Delta m < 0$) ، فإن طاقتها الكتلية تنقص كذلك ($\Delta E < 0$) :
تمنح المجموعة طاقة للوسط الخارجي . وعندما تزداد الكتلة ($\Delta m > 0$) ، فإن المجموعة تستقبل طاقة من الوسط الخارجي ($\Delta E > 0$) .

1-2- وحدات الكتلة والطاقة :

وحدة الطاقة في (ن.ع) هي الجول J ، لكن في الفيزياء النووية يفضل استعمال **الإلكترون-فولط (eV)** ومضاعفاته حيث $1 \text{ eV} = 1,602177 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ و $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$

أما بالنسبة للكتلة الذرية نستعمل **وحدة الكتلة الذرية u** وهي تساوي $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة الكربون 12 .
نعلم أن مولا واحدا من ذرات الكربون 12 يتكون من $N = 6,02 \cdot 10^{23}$ ذرة وكتلته هي 12g . وبالتالي :

$$1u = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad \text{فنجد} \quad 1u = \frac{1}{12} m(^{12}_6\text{C}) = \frac{M(^{12}_6\text{C})}{12 \cdot N_A} = \frac{12}{12 \times 6,02 \cdot 10^{23}}$$

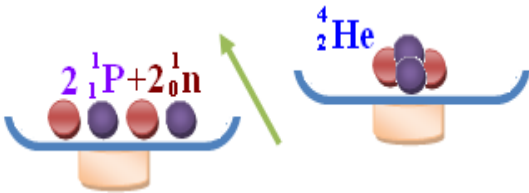
الطاقة المكافئة لوحدة الكتلة الذرية هي :

$$E = m \cdot c^2 = 1u \cdot c^2 = 1,66054 \cdot 10^{-27} \times (299792458)^2 = 1,49242 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

$$1u = 931,5 \frac{\text{MeV}}{c^2} \quad \text{ومنه فإن} \quad E = \frac{1,49242 \cdot 10^{-10}}{1,602177 \cdot 10^{-13}} = 931,5 \text{ MeV} \quad \text{أي}$$

2- طاقة الربط :

1-1- النقص الكتلي :



بينت القياسات الدقيقة أن كتلة النواة تكون دائما أقل من مجموع كتل الدقائق المكونة لها .

فمثلا كتلة نواة الهيليوم ^4_2He هو $m(^4_2\text{He}) = 6,6447 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ أما مجموع كتل نوياتها فيساوي $2m_p + 2m_n = 2 \times 1,6726 \cdot 10^{-27} + 2 \times 1,6750 \cdot 10^{-27} = 6,6952 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
نستخلص إذن أن كتلة نواة الهيليوم أصغر من مجموع كتل نوياتها .

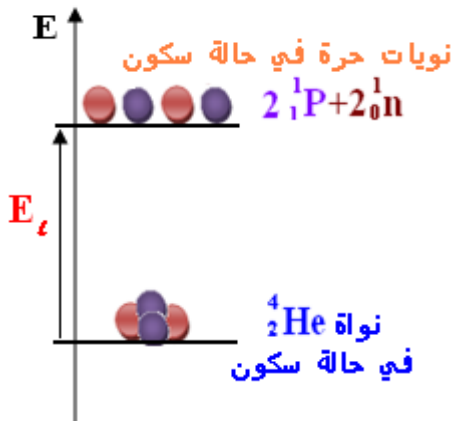
نسمى **النقص الكتلي Δm** لنواة رمزها $^A_Z X$ هو الفرق بين مجموع كتل النويات وكتلة النواة $\Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_n] - m$ مع $\Delta m > 0$ و m كتلة النواة

مثال : النقص الكتلي لنواة الهيليوم هو :

$$\Delta m = 6,6952 \cdot 10^{-27} - 6,6447 \cdot 10^{-27} = 5,0520 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$$

2-2- طاقة الربط :

تتماسك النواة نظرا لوجود قوى التأثيرات البينية القوية ، و لفصل نوياتها يجب إعطائها طاقة تسمى طاقة الربط .



طاقة الربط E_l لنواة هي الطاقة التي يجب إعطائها للنواة ، في حالة سكون ، لفصل نوياتها وتبقى في حالة سكون :

$$E_l = \Delta m \cdot c^2 = [Zm_p + (A - Z)m_n - m({}_Z^AX)]. c^2$$

مع Δm النقص الكتلي

مثال : طاقة الربط بالنسبة لنواة الهيليوم هو :

$$E_l = \Delta m \cdot c^2 = 5,0520 \cdot 10^{-29} \times (3 \cdot 10^8)^2 = 4,55 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

$$E_l = \frac{4,55 \cdot 10^{-12}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 2,84 \cdot 10^7 \text{ eV} = 28,4 \text{ MeV}$$

2-3- طاقة الربط بالنسبة لنوية :

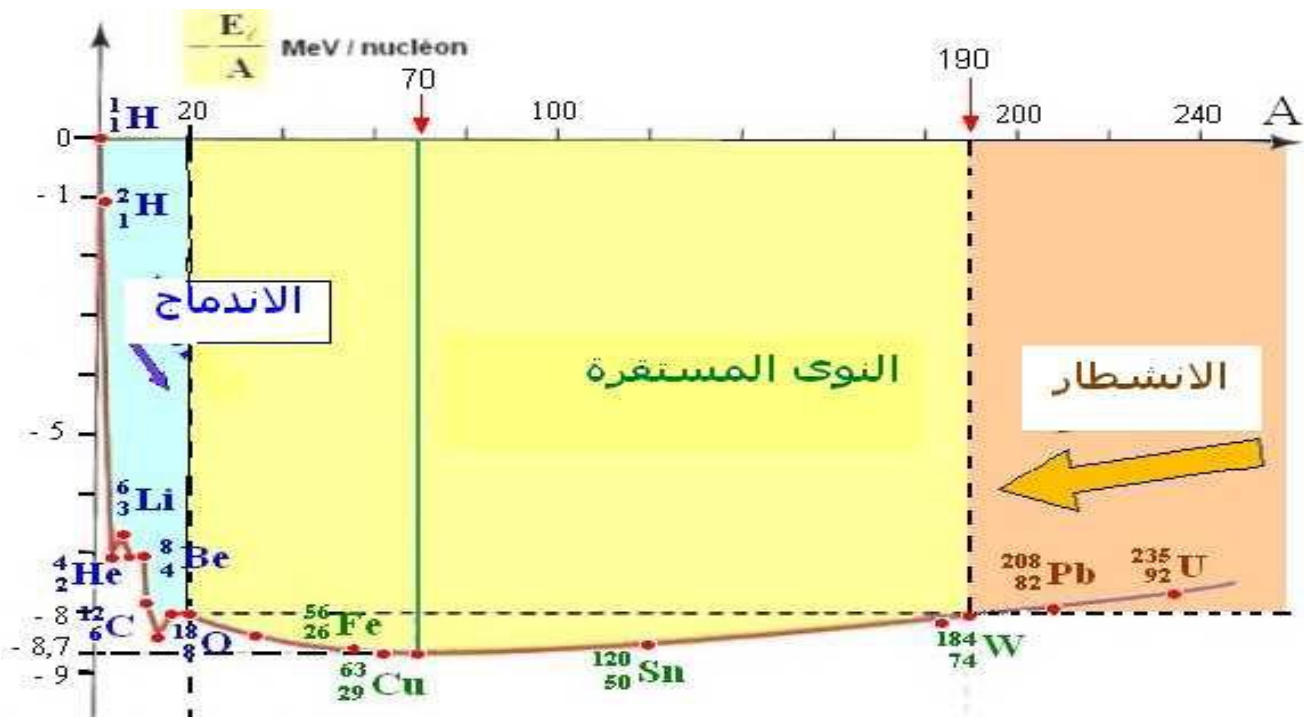
تعرف ξ طاقة الربط بالنسبة لنوية بالعلاقة : $\xi = \frac{E_l}{A}$ حيث E_l طاقة الربط للنواة و A عدد النويات

وحدة ξ هي MeV/nucleon كلما كانت طاقة الربط بالنسبة لنوية كبيرة ، كلما كانت النواة أكثر استقرارا .

مثال : طاقة الربط بالنسبة لنوية الهيليوم هو :

$$\xi({}_2^4\text{He}) = \frac{E_l}{4} = \frac{28,4}{4} = 7,1 \text{ MeV/nucleon}$$

2-4- منحني أسطون :



يمكن مقارنة استقرار مختلف النوى وذلك بخط منحني (ع-) بدلالة A (منحني أسطون) .
انطلاقا من المنحني نلاحظ بالنسبة لـ :

■ $20 < A < 195$: نلاحظ على المنحني قيما دنيا لـ (ع-) ، تقارب قيمتها المطلقة

وتتضمن هذه المنطقة النوى الأكثر استقرارا . 8MeV/nucleon

■ $A < 20$ و $A > 195$: نلاحظ أن (ع-) ضعيفة بالنسبة لهذه النوى ، وهذا ما يؤكد أنها غير مستقرة بحيث يمكنها أن تتحول إلى نوى مستقرة عن طريق الانشطار النووي بالنسبة للنوى الثقيلة ($A > 195$) أو عن طريق الاندماج النووي بالنسبة للنوى الخفيفة ($A < 20$) .

3- الانشطار و الاندماج النوويان : (خاص بـ : ع.ف / ع.ر)

1-3- الانشطار النووي :

1-1-3- تعريف :

الانشطار النووي تفاعل نووي تنقسم خلاله نواة ثقيلة شظورة (قابلة للانشطار) ، بعد التقاطها لنوترون حراري إلى نواتين خفيفتين

مثال :



2-1-3- تفاعل متسلسل :

يمكن للنوترونات الناتجة عن الانشطار النووي أن :

✍ تقلت من وسط التفاعل .

✍ تلتقطها نوى غير شظورة .

✍ 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 A . أما في المفاعلات النووية فيتم التحكم في التفاعل المتسلسل بحيث تنتج الطاقة بكيفية منتظمة (عن طريق امتصاص النوترونات بواسطة قضبان من الكاديوم) .

2-3- الاندماج النووي :

1-2-3- تعريف :

الاندماج النووي تفاعل يتم فيه انضمام نواتين خفيفتين لتكوين نواة أكثر ثقلا

مثال :

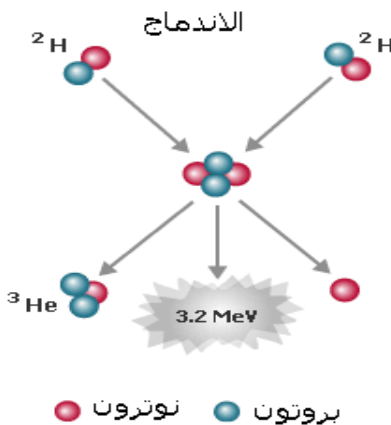
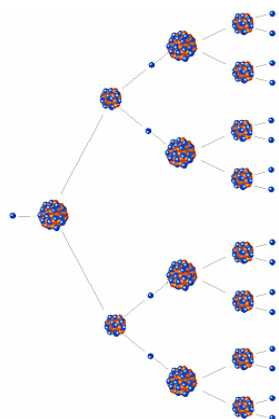
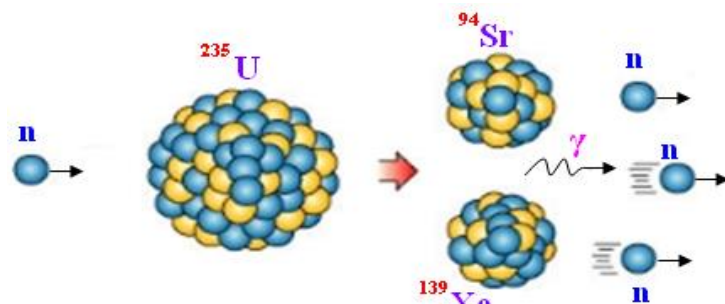
تقع تفاعلات الاندماج داخل الشمس حيث يتم خلالها تكون الهيليوم انطلاقا من الهيدروجين ، وفق ثلاث مراحل :

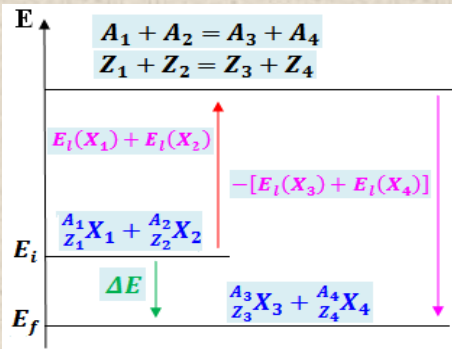


2-2-3- شروط تحقيق الاندماج النووي :

لايتحقق الاندماج النووي إلا إذا كان للنواتين الخفيفتين طاقة تمكنهما من

التغلب على قوى التأثيرات البينية التنافرية . ويتطلب توفير هذه الطاقة درجة حرارة عالية . ولهذا السبب ينعى الاندماج بالتفاعل النووي الحراري .





مخطط الطاقة لتفاعل نووي عام :

E_i : الطاقة البدنية للمجموعة (المتفاعلات)

E_f : الطاقة النهائية للمجموعة (النواتج)

$E_1(X_1) + E_1(X_2)$: الطاقة التي تكتسبها

المجموعة لتفكيك النواتين X_2 و X_1 إلى

نويات

$-[E_1(X_3) + E_1(X_4)]$: الطاقة التي

تحررها المجموعة عند تكون النواتين X_3 و

X_4 انطلاقا من نويات

$\Delta E < 0$: إجمالا ، المجموعة تحرر الطاقة

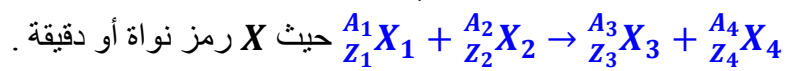
أثناء هذا التفاعل النووي ، وبذلك تصبح أكثر

استقرارا .

4- الحصيللة الكتلية والطاقة لتفاعل نووي :

1-4 الحالة العامة :

نعتبر المعادلة العامة لتفاعل نووي



حيث X رمز نواة أو دقيقة .

الحصيللة الطاقة لهذا التفاعل هي

$$E_1(X_1) + E_1(X_2) = E_1(X_3) + E_1(X_4) + \Delta E$$

مع E_1 طاقة الربط للنواة ΔE طاقة التفاعل وهي مقدار جبري

$\Delta E < 0$ يكون التفاعل ناشرا للطاقة

$\Delta E > 0$ يكون التفاعل ماصا للطاقة

$$\Delta E = [E_1(X_1) + E_1(X_2) - E_1(X_3) - E_1(X_4)]$$

إذن حسب تعريف طاقة الربط

$$E_1({}^A_ZX) = [Zm_p + (A - Z)m_n - m({}^A_ZX)].c^2$$

وباستعمال قانوني سودي $Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$

و $A_1 + A_2 = A_3 + A_4$

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

$$\Delta E = \Delta m.c^2 = [m(\text{الناتج}) - m(\text{المتفاعلات})].c^2$$

ملحوظة : الطاقة المحررة خلال تفاعل ناشر للطاقة هي $\xi_l = -\Delta E > 0$

2-4 تطبيقات على الانشطار والاندماج النوويين : (خاص ب : ع.ف / ع.ر)

1-2-4 الانشطار النووي :

نعتبر معادلة الانشطار النووي التالية :



$$\Delta E = \Delta m.c^2 = [m(\text{الناتج}) - m(\text{المتفاعلات})].c^2$$

$$\Delta E = [m({}^{140}_{55}\text{Cs}) + m({}^{93}_{37}\text{Rb}) + 3m({}^1_0\text{n}) - m({}^{235}_{92}\text{U}) - m({}^1_0\text{n})].c^2$$

${}^{235}_{92}\text{U}$	${}^{140}_{55}\text{Cs}$	${}^{93}_{37}\text{Rb}$	${}^1_0\text{n}$
234,99346	139,88711	92,90174	1,00866
كتل النوى المتدخلة في تفاعل الانشطار (u)			

$$\Delta E = \Delta m.c^2 = -2,7952.10^{-11}\text{J} = -174,46\text{MeV}$$

إذن انشطار نواة واحدة من الأورانيوم 235 يحترق طاقة $\xi_l = -\Delta E = 174,46\text{MeV}$

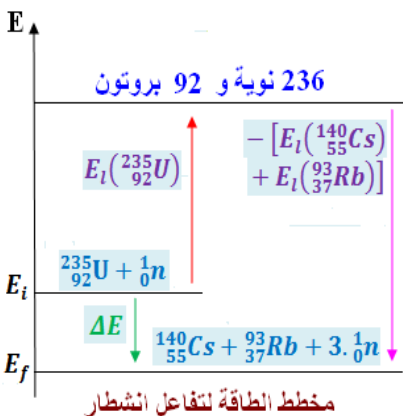
2-2-4 الاندماج النووي :



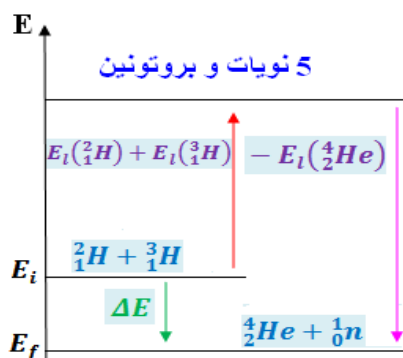
$$\Delta E = \Delta m.c^2 = [m(\text{الناتج}) - m(\text{المتفاعلات})].c^2$$

$$\Delta E = [m({}^4_2\text{He}) + m({}^1_0\text{n}) - m({}^2_1\text{H}) - m({}^3_1\text{H})].c^2$$

${}^2_1\text{H}$	${}^3_1\text{H}$	${}^4_2\text{He}$	${}^1_0\text{n}$
2,01355	3,01550	4,00150	1,00866
كتل النوى المتدخلة في تفاعل الانشطار (u)			



مخطط الطاقة لتفاعل انشطار



تفاعل الاندماج النووي داخل الشمس

إذن $\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = -17,585 \text{ MeV} = -17,6 \text{ MeV}$

إذن تفاعل الاندماج يحرر طاقة $\xi_l = -\Delta E = 17,6 \text{ MeV}$

3-4 تطبيقات على التحولات النووية التلقائية :

تدل إشارة ΔE على أن المجموعة تكون إما **ناشرة للطاقة** (تحرر الطاقة للوسط الخارجي) : $\Delta E < 0$

، أو **ماصة للطاقة** (تكتسب الطاقة من المحيط الخارجي) : $\Delta E > 0$.

بالنسبة للتحولات النووية التلقائية ، تكون ΔE دائما سالبة ($\Delta E < 0$) ونرمز لها بالحرف ξ_l ، وتسمى **الطاقة المتحررة** . وتظهر هذه الطاقة على شكل **طاقة حركية** تكتسبها على الخصوص **الدقائق المنبعثة** .

1-3-4 النشاط الإشعاعي α :

معادلة التفتت α هي : ${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2\text{He}$

الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي α هي :

$$E = \Delta m \cdot c^2 = [m({}^4_2\text{He}) + m({}^{A-4}_{Z-2}Y) - m({}^A_ZX)] \cdot c^2$$

مثال : ${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^4_2\text{He}$. كتل النوى (u) هي :

${}^{226}_{88}\text{Ra}$	${}^{222}_{86}\text{Rn}$	${}^4_2\text{He}$
225,9770	221,9702	4,0015

$$E = [m({}^4_2\text{He}) + m({}^{222}_{86}\text{Rn}) - m({}^{226}_{88}\text{Ra})] \cdot c^2 = -4,94 \text{ MeV}$$

2-3-4 النشاط الإشعاعي β^- :

معادلة التفتت β^- هي : ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + {}^0_{-1}e^-$

الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي β^- هي :

$$E = \Delta m \cdot c^2 = [m({}^0_{-1}e^-) + m({}^A_{Z+1}Y) - m({}^A_ZX)] \cdot c^2$$

مثال : ${}^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow {}^{60}_{28}\text{Ni} + {}^0_{-1}e^-$. كتل النوى (u) هي :

${}^{60}_{27}\text{Co}$	${}^{60}_{28}\text{Ni}$	${}^0_{-1}e^-$
59,9190	59,915	$5,49 \cdot 10^{-4}$

$$E = [m({}^0_{-1}e^-) + m({}^{60}_{28}\text{Ni}) - m({}^{60}_{27}\text{Co})] \cdot c^2 = -2,84 \text{ MeV}$$

3-3-4 النشاط الإشعاعي β^+ :

معادلة التفتت β^+ هي : ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-1}Y + {}^0_1e^+$

الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي β^+ هي :

$$E = \Delta m \cdot c^2 = [m({}^0_1e^+) + m({}^A_{Z-1}Y) - m({}^A_ZX)] \cdot c^2$$

مثال : ${}^{13}_7\text{N} \rightarrow {}^{13}_6\text{C} + {}^0_1e^+$. كتل النوى (u) هي :

${}^{13}_6\text{C}$	${}^{13}_7\text{N}$	${}^0_1e^+$
13,000062	13,001898	$5,49 \cdot 10^{-4}$

$$E = [m({}^0_1e^+) + m({}^{13}_6\text{C}) - m({}^{13}_7\text{N})] \cdot c^2 = -1,999 \text{ MeV}$$

5- استعمالات وأخطار النشاط الإشعاعي :

5-1- المفعول البيولوجي للإشعاعات :

عند اختراقها للمادة تحدث الدقائق ، الناتجة عن الأنشطة الإشعاعية وكذلك الإشعاع γ ، تأينا في مسارها ويمكنها بذلك أن تحدث تفاعلات كيميائية في جزيئة المادة الحية . وقد تتسبب في طفرة وراثية إذا ما غيرت بنية جزيئة ADN . ويرتبط تأثير الإشعاعات على الأنسجة الحية بـ :

⊕ عدد الدقائق التي يتلقاها النسيج الحي ، وهذا يتعلق بنشاط

العينة وبعها ومدة التعرض للإشعاع .

⊕ الطاقة التي تودعها في النسيج .

⊕ نوع النشاط الإشعاعي (α ، β^- ، β^+ ، γ) .

⊕ طبيعة النسيج الذي أصيب .

5-2- استعمالات النشاط الإشعاعي :

للطاقة النووية استعمالات متعددة وفي مجالات مختلفة ، منها :

✍ **الصناعة :** إنتاج الطاقة الكهربائية ، إنجاز اختبارات الجودة والكشف عن العيوب الصناعية و إنتاج أشباه الموصلات

✍ **الزراعة :** مقاومة الآفات و الحشرات ، زيادة مدة تخزين المنتجات الزراعية ، انتقاء نوعيات معينة من البذور ، استنباط أنواع جديدة من المحاصيل ذات إنتاجية عالية

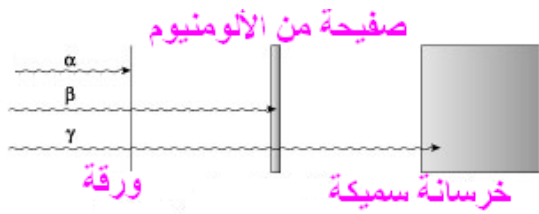
✍ **الطب :** معالجة الأورام السرطانية ، تعقيم الأدوات الطبية ، استعمال المواد الاستشفائية للتعرف على بعض الأمراض

5-3- أخطار النشاط الإشعاعي :

على غرار مصادر الطاقة جميعها ، للطاقة النووية أضرار يمكن إيجازها في :

✚ **الانفجارات النووية** ذات القوة التدميرية الكبيرة التي تنتج إشعاعات بكميات كبيرة ، تؤدي إلى وفاة الكائنات الحية أو إصابتها بسرطانات أو حروق و إلحاق أضرار جسيمة بالبيئة ولمدة طويلة كما حدث عند تفجير أولى القنابل النووية بهيروشيما و ناكازاكي باليابان سنة 1945 .

✚ **المفاعلات النووية** تتعرض لبعض الأعطال التي تؤدي إلى تسرب الوقود النووي المشع كما حدث في تشيرنوبيل بأوكرانيا سنة 1986 . وتخليقها لنفايات مشعة تطرح مشكل التخلص منها .



القدرة الإخترافية للدقائق α و β و γ