الفصل الخامس

التفاعلات النووية Nuclear Reactions

التفاعل النووي : هو عميلة يحدث فيها تغيير في تركيب النواة الهدف وطاقتها او في احدهما فقط او كليهما بعد قصف النواة الهدف بجسيمات مشحونة او غير مشحونة او اشعة كاما . ويعبر عن التفاعل النووي بالمعادلة :

a+x→ y+b Or x(a,b)y ……(1)

حيث a : تمثل الجسيم الساقط incident particle

x: النواة الهدف target nucleus

y : النواة الناتجة product nucleus

b: الجسيم الخارج outgoing particle

ملاحظة / ان اول تفاعل نووي اجري مختبريا ذلك الذي اعلنه رذرفورد عام ١٩١١ :

$$^{4}_{2}He + ^{14}_{7}N \rightarrow ^{1}_{1}H + ^{17}_{8}O$$

نظرية التفاعل والنواة المركبة :-

حسب آلية التفاعل فانه يمكن تقسيم تفاعلات التحول النووية الى تفاعلات مباشرة وتفاعلات النواة المركبة . ان آلية التفاعلات المباشرة تختلف تماما عن آلية النواة المركبة ، فالتفاعلات المباشرة هي عمليات آنية سريعة جدا تحدث بزمن بحدود 10^{-22} sec ، في حين تستغرق النواة المركبة فترة زمنية اطول من ذلك بكثير 10^{-16} sec – 10^{-8} . كما ان التفاعلات المباشرة تحدث بدرجة كبيرة عند سطح النواة الهدف بمشاركة نيوكليون واحد او عدد قليل من النيوكليونات المكافئة الواقعة قرب سطح النواة الهدف ، في حين

تبقى النيوكليونات الاخرى في الهدف بدون مشاركة ويخرج نتيجة لذلك نيوكليون منفرد من احد المستويات مما يؤدي الى تفكيك التركيب القشري للنوى ، وكلما زادت طاقة الجسيمات الساقطة (اكثر من 20 MeV) ازدادت احتمالية حدوث التفاعلات المباشرة . ويمكن ان تحدث التفاعلات المباشرة بعدة طرق مثل تفاعل الانتزاع ، وتفاعل الالتقاط وتفاعل الاخراج .

اما في آلية النواة المركبة فيندمج الجسيم الساقط مع النواة الهدف لفترة قصيرة وتتقاسم الطاقة فيما بينها بشكل كامل قبل ان يقذف نيوكليون او مجموعة نيوكليونات خارج النواة المركبة .

واذا لم تكن الطاقة الحركية للجسيم الساقط عالية فانه يمكن تفسير حدوث التفاعل النووي على اساس انه يتم بمرحلتين :-

١-الجسيم الساقط ونواة الهدف يكونان نواة جديدة تسمى النواة المركبة compound nucleus . ان طاقة الجسيم الساقط توزع بين النيوكليونات في النواة المركبة والتي تكون بحالة متهيجة جدا ، فمثلا في حالة تفاعل جسيمات الفا مع نوى النيتروجين تكون النواة المركبة $\left[{}^{18}_{9}F^{*}\right]$ وعلامة النجمة تدل على حالة التهيج .

$${}^{4}_{2}He + {}^{14}_{7}N \rightarrow \left[{}^{18}_{9}F^{*}\right] \rightarrow {}^{1}_{1}H + {}^{17}_{8}O$$

٢-تنحل النواة المركبة بطريقة او اكثر معتمدة على طاقة تهيجها الى جسيمة او عدة جسيمات خارجة ونواة متبقية ، ان كل طريقة للتحلل تدعى بنمط او قناة Channal وكالاتي:-

$a+x \rightarrow [C_N]^* \rightarrow$	$X+a$	استطارة مرنة
	X^*+a	استطارة مرنة
	$y+b$	
	$d+m+n$	

نلاحظ ان الجسيمتين الناتجتين من التصادم في الحالة الاولى والثانية من التفاعل اعلاه هما نفسهما الجسيمتان المتصادمتان فعليه يقال عن كل من هاتين القناتين استطارة ، وحيث ان النواة المتبقية في الحالة الاولى هي في الحالة الارضية وغير متهيجة لذا يقال عن الاستطارة بانها استطارة مرنة حيث تكون الطاقة الحركية محفوظة في هكذا استطارة . اما في التفاعل الثاني او القناة الثانية وحيث ان النواة المتبقية قد تركت متهيجة فيقال عن الاستطارة بانها غير مرنة .

وقد تكون نواتج التفاعل عبارة عن نواة متبقية يصاحبها انبعاث فوتون واحد او اكثر من اشعة كاما وكمثال على الحالات المذكورة نأخذ التفاعل الاتي:-

$$^{27}_{13}Al + ^{1}_{1}H \rightarrow \left[^{28}_{14}Si\right]^{*} \rightarrow {}^{24}_{12}Mg + {}^{4}_{2}He$$

$$\rightarrow {}^{27}_{14}Si + {}^{1}_{0}n$$

$$\rightarrow {}^{28}_{14}Si + \gamma$$

$$\rightarrow {}^{24}_{11}Na + 4{}^{1}_{1}H + {}^{1}_{0}n$$

اصناف التفاعلات النووية :-

يمكن تصنيف التفاعلات النووية اعتمادا على طبيعة الجسيم الساقط وطاقة التصادم وطبيعة الهدف ونواتج التفاعل وكالاتي :-

اولا : طبيعة الجسيم الساقط : وتصنف الى :-

أ-تفاعلات الجسيمات المشحونة : حيث يتم التفاعل بقذف النواة الهدف بجسيمة مشحونة مثل البروتون P ، والديوترون $d\left({}^{2}_{1}H^{+}\right)$ وجسيمة الفا ${}^{4}_{2}He^{++}$ ومن امثلة هذه التفاعلات هي :-

$^{14}N(p,p)^{14}N$, $^{14}N(\alpha,P)^{17}O$, $^{18}O(p,n)^{18}F$, $^{14}N(p,p)^{14}N^{*}$

ب–تفاعلات النيوترون : تمتاز النيوترونات بكونها عديمة الشحنة لذا فقد امتازت النيوترونات بانها لا تعاني من التنافر الكولومي عند اقترابها من النواة مما يعني نفوذها في النواة اسهل من نفوذ الجسيمات المشحونة. ومن تفاعلات النيوترونات:–

$^{27}Al(n,\alpha)^{24}Na$, $^{14}N(n,p)^{14}C$, $^{27}Al(n,\gamma)^{28}Al$

ج–التفاعلات النووية الضوئية : (تفاعل اشعة كاما مع النواة) مثل :

$^{27}Al(\gamma,n)^{26}Al$, $^{25}Mg(\gamma,p)^{24}Na$

ويمكن الحصول على طاقات عالية لاشعة كاما من التفاعلات النووية باستخدام المعجلات، ومن الامثلة على تفاعلات كاما ذلك الذي يتم به تجزئة الديوترون :

$$^{2}_{1}H_{1} + \gamma \rightarrow [^{1}_{1}H^{*}] \rightarrow {}^{1}_{1}H + {}^{1}_{0}n_{1}$$

ثانيا : طاقة التصادم : اي الطاقة الحركية للقذيفة ، حيث تصنف التفاعلات النووية الى:

١–تفاعلات حرارية (thermal) E=0.025 eV

٢–تفاعلات فوق الحرارية (Epithermal) E=1 eV

٣–تفاعلات نيوترونات بطيئة (Slow- neutron) $E\sim 1KeV$

٤–تفاعلات نيوترونات سريعة (Fast- neutron) $E\sim 0.1-10\ MeV$

٥–تفاعلات الجسيمات المشحونة البطيئة (low-energy charged) $E\sim 0.1-10\ MeV$

٦–تفاعلات ذات طاقة عالية (high – energy reactions) E>10 MeV

ثالثا: الهدف target : تصنف النواة الهدف الى :

أ–نوى خفيفة إذا كان $A \leq 40$

ب–نوى متوسطة $40<A<150$

ج– نوى ثقيلة $A>150$

رابعا : الجسيمات الناتجة (نواتج التفاعل) : -

X(p,p) X , elastic scattering

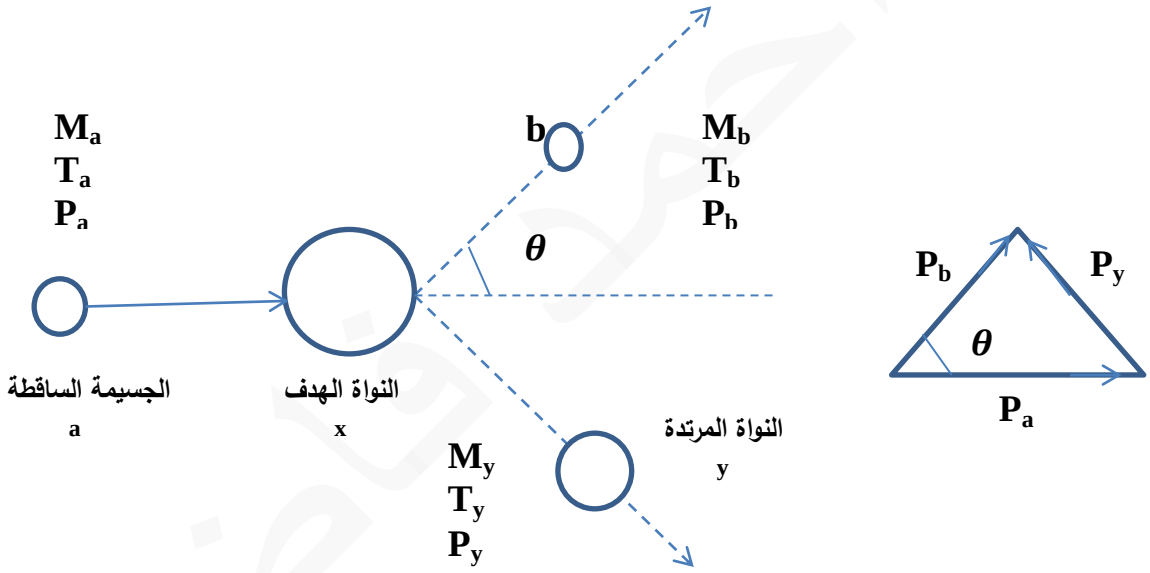
X(p,p) X^* , inelastic scattering

$^{14}N(p,\gamma)\ ^{15}O$, capture reaction

$^{235}_{92}U(n,\ ^{92}_{36}K + 3n)^{141}_{56}Ba$ nuclear fission , spallation reaction

حساب الطاقة في التفاعلات النووية :-

الشكل ادناه يمثل تفاعلا نوويا اعتياديا



نلاحظ ان (a) تمثل الجسيمة الساقطة او الجسيمة المقذوفة ، وان P_a , T_a , M_a هي على التوالي الكتلة والطاقة الحركية والزخم للجسيمة الساقطة التي تتفاعل مع نواة الهدف (X) والتي تكون مستقرة تقريبا (T_x=0) وذات كتلة M_x ، وبعد التفاعل تنبعث الجسيمة (b) ، بكتلة M_b وبطاقة حركية T_b وبزخم P_b ، والنواة المرتدة بكتلة M_y وطاقة حركية T_y ، وباستخدام قانون حفظ الطاقة يكون لدينا :-

$$M_aC^2 + T_a + M_xC^2 + T_x = M_bC^2 + T_b + M_yC^2 + T_y \ldots\ldots (2)$$

ولكن T_x=0 فيكون لدينا :

$(M_a + M_x)C^2 - (M_b + M_y)C^2 = T_b + T_y - T_a$ ……..(3)

ان طاقة التفاعل (Q) تعرف بانها الفرق بين الطاقات الحركية النهائية والابتدائية ولهذا فان:

$Q = T_{final} - T_{in} = (T_b + T_y) - (T_a + T_x)$

وحيث ان $T_x = 0$ فان :

$Q = T_b + T_y - T_a$ …… (4)

وبالتعويض عن قيمة Q في المعادلة (3) نحصل على :

$Q = (M_a + M_x)C^2 - (M_b + M_y)C^2$ …….(5)

تستخدم العلاقة (5) لحساب طاقة التفاعل إذا كانت كتل الجسيمات الداخلة والناتجة في التفاعل معروفة بدقة عالية .

وبتطبيق قانون حفظ الزخم نحصل على :-

$P_a = P_b + P_y$ ……..(6)

وبتطبيق قانون الجيب تمام على المثلث في الشكل السابق :

$P_y^2 = P_a^2 + P_b^2 - 2P_aP_b\cos\theta$ ……(7)

وبما ان $P^2 = 2MT$ ، $P = \sqrt{2MT}$ وبالتعويض عن قيم الزخوم في معادلة (7) :

$2M_yT_y = 2M_aT_a + 2M_bT_b - 4\sqrt{M_aT_aM_bT_b}\cos\theta$

$\therefore T_y = \frac{M_a}{M_y}T_a + \frac{M_b}{M_y}T_b - 2\frac{\sqrt{M_aT_aM_bT_b}}{M_y}\cos\theta$ ……..(8)

وبتعويض معادلة (8) في (4) نحصل على :-

$Q = \left(1 + \frac{M_b}{M_y}\right)T_b - \left(1 - \frac{M_a}{M_y}\right)T_a - 2\frac{\sqrt{M_aT_aM_bT_b}}{M_y}\cos\theta$ ……(9)

ملاحظة / ان الكتل في المعادلة (9) يمكن التعويض عنها بالاعداد الكتلية .

ان قيمة (Q) في المعادلة (9) يمكن ان تكون موجبة او سالبة او تساوي صفراً ، وعلى هذا الاساس يمكن تقسيم التفاعلات النووية الى قسمين تفاعلات باعثة للطاقة وتفاعلات ماصة للطاقة وكالاتي:-

التفاعلات الباثعة للطاقة Exoergic reactions (Q>0):

تسمى التفاعلات النووية بالباعثة للطاقة عندما تكون طاقة التفاعل كمية موجبة Q>0 ، وهذا يعني ان الكتل الابتدائية اكبر من الكتل النهائية او ان الطاقات الحركية النهائية اكبر من الطالقات الحركية الابتدائية ، وهكذا فان تفاعلات من هذا النوع يمكن ان تحدث حتى عندما تكون طاقة الجسيمة الساقطة قريبة من الصفر ($T_a \approx 0$) ، ان ابرز نوع من هذه التفاعلات واهمها هي تفاعلات النيوترونات الحرارية (التي تكون طاقتها مساوية الى 0.025 eV تقريبا وذلك كما في التفاعل الاتي :

$$^{10}_{5}B + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{7}_{3}Li + ^{4}_{2}He \quad (Q = 2.8\ MeV)$$

فاذا كانت طاقة الجسيمة الساقطة تساوي صفراً تقريبا $T_a \approx 0$ ، يمكن ايجاد T_b من المعادلة (9) بدلالة طاقة التفاعل Q وفق المعادلة الاتية :-

$$T_b = \frac{M_y}{M_y + M_b} Q \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

من علاقة (10) نلاحظ ان الطاقة الحركية للجسيمات المنبعثة لا تعتمد على الزاوية θ وبهذا تكون T_b متساوية في جميع الاتجاهات .

التفاعلات الماصة للطاقة Endoergic reactions (Q<0):

تسمى التفاعلات ماصة للطاقة عندما تكون Q<0 ، فعندما تكون Q كمية سالبة وان $T_a=0$ فان طاقة الجسيمة المنبعثة في معادلة (٩) تكون كمية سالبة ، وهذا يعني ان

تفاعلات من هذا النوع لا يمكن ان تحدث بطاقات $T_a=0$ ، اي تفاعلات ذات عتبة Threashold reactions .

طاقة العتبة (Threashold Energy) (T_{th}) :-

ان اقل قيمة لطاقة الجسيمة الساقطة $T_{a(min)}$ التي يمكن ان تحدث تفاعلا نوويا تسمى بطاقة العتبة (T_{th}) حيث :

$$T_{a(min)} = T_{threashold} = -Q \frac{M_y+M_b}{M_y+M_b-M_a} \quad \text{.....(11)}$$

ان العلاقة العامة التي تربط بين Q وكتل السكون هي :-

$$M_a + M_x = M_b + M_y + Q/C^2$$

وبما ان $M_x >> Q/C^2$ فان :

$$M_y = M_a + M_x - M_b \quad \text{..... (12)}$$

نعوض (١٢) في (١١) فنحصل على طاقة العتبة :

$$T_{th} = -Q \frac{M_a+M_x}{M_x} \quad \text{.....(13)}$$

وبدلالة الاعداد الكتلية تصبح المعادلة (١٣)

$$T_{th} = -Q \left[\frac{A_a+A_x}{A_x}\right] = -Q \left[1 + \frac{A_a}{A_x}\right] \quad \text{.....(14)}$$

تفاعلات الاستطارة المرنة :-

بالنسبة الى الاستطارة المرنة ، حيث لا يكون هناك ربح او خسارة في الطاقة قبل الاستطارة وبعدها فان (Q=0) وان $M_a=M_b$ ، $M_x=M_y$.

ملاحظة / ان التفاعلات النووية يجب ان تتحقق بها قوانين الحفظ وهي :

١-قانون حفظ الطاقة والكتلة .

٢-قانون حفظ الزخم الخطي .

٣-قانون حفظ الزخم الزاوي.

٤-قانون حفظ الشحنة الكهربائي (قانون حفظ العدد الذري) .

٥-قانون حفظ عدد النيوكلونات (قانون حفظ العدد الكتلي) .

مثال/ إذا كانت قيمة Q للتفاعل التالي $^{26}Mg\ (p,\alpha)^{22}Na$ هي (-0.7 MeV) ، احسب الزاوية التي تضعها جسيمات الفا الناتجة من التفاعل مع اتجاه البروتونات الساقطة علما ان الطاقة الحركية لجسيمات الفا هي (2 MeV) وان طاقة البروتونات الحركية هي (3 MeV) ؟

الحل /

$$Q=\left(1+\frac{M_b}{M_y}\right)T_b-\left(1-\frac{M_a}{M_y}\right)T_a-\frac{2}{M_y}\sqrt{M_aT_aM_bT_b}\,cos\theta$$

$$-0.7=\left(1+\frac{4}{22}\right)*2-\left(1-\frac{1}{22}\right)*3-\frac{2}{22}\sqrt{1\times3\times4\times2}\,cos\theta$$

$$-0.7 = 2.363 - 2.863 - 0.445\cos\theta$$

$$0.445\cos\theta = 0.2 \rightarrow \cos\theta = \frac{0.2}{0.445} = 0.449$$

$$\theta \cong 1.1^o$$

ملاحظة / في حالة الاستطارة غير المرنة ، حيث ان النواة المقصوفة تنتقل الى مستوى اثارة (او تهيج) بعد التصادم نتيجة لاكتسابها جزءا من طاقة الجسيمة الساقطة ، لذا فان معادلة طاقة التفاعل يجب ان تضم طاقة مستوى الاثارة حيث ان :

$$Q_{ex}= 931.5\ (M_a + M_x - M_y^* - M_b)$$

$Q_0 = 931.5\ (M_a + M_x - M_y - M_b)$

$Q_0 - Q_{ex} = 931.5\ (M_y^* - M_y) = E_{ex}$

$E_n = Q_0 - Q_n$

مثال / إذا كانت قيمة Q_0 للتفاعل $^{27}_{13}Al(p,\propto)^{24}_{12}Mg$ هي 1.594 MeV جد طاقة العتبة للتفاعل $^{24}_{12}Mg(\propto,p)^{27}_{13}Al$ عندما تكون نواة $^{27}_{13}Al$ متهيجة في مستوى طاقتة 0.842 MeV ؟

الحل / عندما يعكس التفاعل فان قيمة طاقة التفاعل (Q_0) للتفاعل الاصلي سوف تكون سالبة.

اذن قيمة Q_0 للتفاعل $^{24}_{12}Mg(\propto,p)^{27}_{13}Al$ تكون $Q_0 = -1.594$ MeV

$Q_n = Q_0 - E_n \rightarrow Q_n = -1.594 - 0.842 = -2.436$ MeV

$E_{th} = -Q_n \left[1 + \frac{A_a}{A_x}\right] = -(-2.436) * \frac{28}{24}$

$E_{th} = 2.842$ MeV

مثال / أ / في الاستطارة الكولومية لبروتونات بطاقة 7.5 MeV بواسطة هدف من $^{7}_{3}Li$ ، ما هي طاقة البروتونات المستطارة استطارة مرنة بزاوية 90^o ؟

ب/احسب طاقة البروتونات المستطارة بزاوية 90^o باستطارة غير مرنة عندما ترتفع نواة $^{7}_{3}Li$ الى مستوى الاثارة الاولى ذي طاقة 0.477 MeV ؟

الحل/ أ- في الاستطارة المرنة فان $M_a = M_b\ ,\ M_x = M_y\ ,\ Q=0$

$$Q = \left(1 + \frac{M_b}{M_y}\right) T_b - \left(1 - \frac{M_a}{M_y}\right) T_a - 2\frac{\sqrt{M_a T_a M_b T_b}}{M_y} cos\theta$$

$$0 = (1 + \frac{1}{7})\ T_b - \left(1 - \frac{1}{7}\right) \times 7.5$$

$$0 = \frac{8}{7}\ T_b - \frac{6}{7} \times 7.5 \rightarrow\ T_b = 5.625\ MeV$$

ب- في الاستطارة غير المرنة $Q_{ex}= - E_{ex}$ وتساوي Q=-0.477 MeV

$$-0.477 = \left(1+\frac{1}{7}\right)T_b - \left(1-\frac{1}{7}\right) \times 7.5$$

$$T_b = 5.2 \text{ MeV}$$

مساحة مقطع التفاعل (Reaction cross section) :-

إذا تصورنا حزمة من الجسيمات الساقطة على هدف فان جزءا قليلا منها قد يحدث تفاعلا نوويا والجزء الاخر يمر بدون تفاعل . كذلك لا يمكننا ان نتساءل عن اي الجسيمات تحدث التفاعل ، فنحن نتكلم عن احتمالية حدوث حدث . ويطلق على هذه الاحتمالية بالمقطع العرضي او المقطع العرضي النووي (σ) (Nuclear cross section) . فلو كان لدينا حزمة من الجسيمات ذات طاقة ثابتة شدتها I تسقط على هدف رقيق سمكه dx ومساحته A ، فهناك مع كل نواة من النوى مساحة حساسة مقدارها (σ)، بحيث ان الجسيم الساقط يصطدم بالنواة من خلال هذه المساحة ويولد تفاعلا نوويا ينتج عنه (N) من الجسيمات الخفيفة . فاذا كان الهدف يحوي على n نواة في وحدة الحجم ، فان عدد النوى في وحدة المساحة يكونndx ، والعدد الكلي من النوى في المساحة A يكون ndxA . وبما ان هناك مساحة حساسة مع كل نواة σ فان المساحة الحساسة الكلية تكون σ ndxA .

ان احتمال تصادم الجسيم الساقط مع نوى الهدف يساوي $\frac{N}{I}$ وتعطى بالعلاقة :

$$\frac{N}{I} = \frac{\text{المساحة الحساسة الكلية}}{\text{المساحة الكلية}} = \frac{ndxA\sigma}{A}$$

$$\therefore \sigma = \frac{N}{\left(\frac{I}{A}\right)(nAdx)} \quad Or \quad \sigma = \frac{N}{Indx}$$

ووحدة مساحة المقطع هي البارن barn (b) حيث $1b = 10^{-24}\ cm^2$

ومن الممكن أيضاً كتابة النسبة $(\frac{N}{I})$ مساوية الى التغير الحاصل بشدة الحزمة وذلك عند مرورها في الهدف :

$$\frac{N}{I} = -\frac{dI}{I} = n\sigma dx$$

حيث dI تمثل التغير الحاصل بالشدة ، اما الاشارة السالبة فتدل على ان هناك نقصانا بقيمة I كلما زادت قيمة X . وبتطبيق الشرط $I=I_o$ عندما $x=0$ فان :

$$I=I_o\, e^{-nx\sigma}$$

حيث $n\sigma$ تمثل معامل امتصاص الجسيمات في المادة .

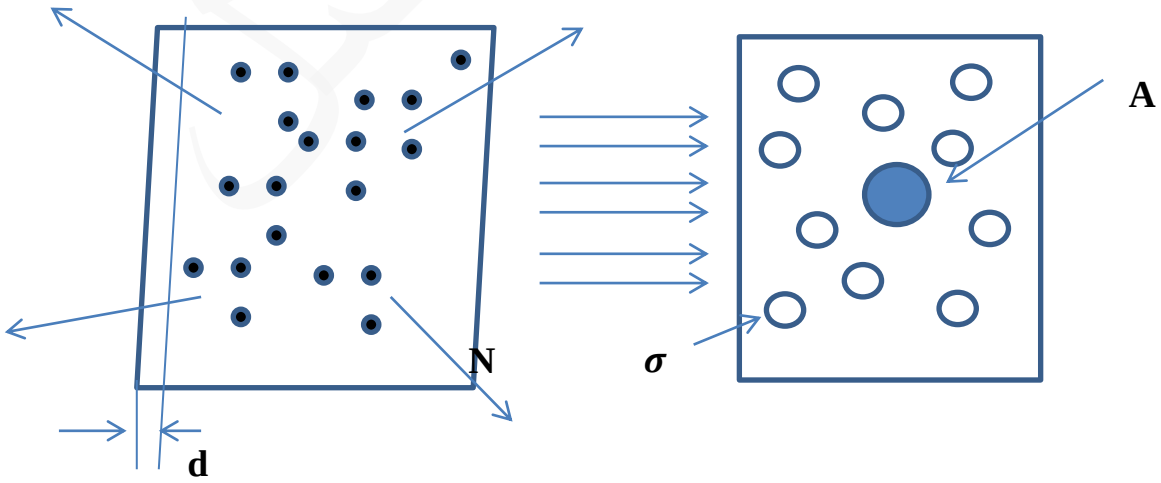
وبصورة عامة فان التفاعل الحاصل بين الجسيم الساقط ونواة مادة الهدف قد يسلك عددا من الطرق لانتاج الجسيمات الخفيفة المتعددة : $N_1 , N_2 , N_3 , ..., N_i$ في وحدة الزمن ، فاذا افترضنا ان $\sigma_1, \sigma_2 , \sigma_3, \dots\dots, \sigma_i$ عبارة عن المقاطع العرضية لكل تفاعل نووي فان المقطع العرضي الكلي σ_{total} يمكن ان يعرف كحاصل جمع المقاطع العرضية المفردة:-

$$\sigma_{total} = \sum \sigma_i = \frac{N_1+N_2+N_3+\cdots..}{\left(\frac{I}{A}\right)(nAdx)}$$

اما مساحة المقطع العرضي التفاضلية differential cross section والتي يرمز لها بالرمز $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ فتعطى بالعلاقة :

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\frac{dN}{d\Omega}}{\left(\frac{I}{A}\right)(nAdx)}$$

حيث تمثل dN عدد النواتج الخفيفة لوحدة الزمن بزاوية مجسمة dΩ عند زاوية θ بالنسبة لاتجاه الحزمة .



الانشطار النووي Nuclear Fission :

يسمى التفاعل النووي x(a,b)y بالانشطار إذا كانت كتلتا b,y متقاربتين . يمكن ان يحدث الانشطار تلقائيا او بواسطة اقتناص نيوترون او بواسطة القصف بجسيمات p, d او اشعة كاما . تسمى الكتلتان الرئيسيتان الناتجتان من الانشطار بشظايا الانشطار fission fragment . ان الشظايا تكون غنية بالنيوترونات لذلك فان هناك افضلية لانبعاث النيوترونات منهما . تستمر انحلالات β و γ لتؤدي في النهاية الى تقريب الشظايا من خط الاستقرار .

تفاصيل عملية الانشطار :-

لنأخذ انشطار نواة $^{235}_{92}U$ بالنيوترون البطيء كمثال على عملية الانشطار :

١- تبدأ عملية الانشطار النووي باقتناص نيوترون حراري من قبل نواة $^{235}_{92}U$ لتتكون النواة المركبة $^{236}U^*$ ويحدث تشويه لشكل النواة لتصبح بشكل كرتين .

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow \left[^{236}U\right]^*$$

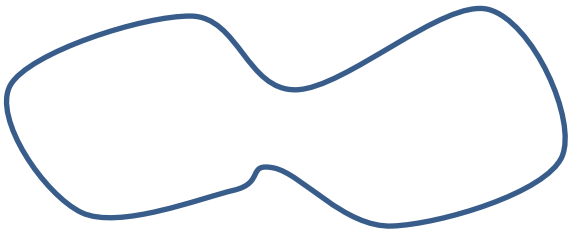
٢- بسبب طاقة ترابط هذا النيوترون مع النواة المركبة تحدث اهتزازات عنيفة داخل النواة المركبة تؤدي الى تشوه شكل النواة وتخصرها وبالتالي انشطارها الى شظيتين كبيرتين (لهما زخمان متساويان ومتعاكسان بالاتجاه تقريبا) مع انبعاث عدد من النيوترونات الفورية prombt neutron بفترة قصيرة جدا $t<10^{-15}$ sec.

٣- ان معادلة التفاعل النووي للانشطار للنظير ^{235}U هي :

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow \left[^{236}U\right]^* \rightarrow ^{90}_{36}Kr + ^{144}_{56}Ba + 2^{1}_{0}n + energy$$

٤- ان النيوترونات الناتجة من الانشطار إذا امكن لها ان تنتج انشطارات جديدة فيسمى هذا التفاعل بالتفاعل المتسلسل المتشعب الذي يكون غير مسيطر عليه كما في الاسلحة النووية ، اما إذا امكن لنيوترون واحد انتاج وادامة الانشطار بينما بقية النيوترونات تختفي فيسمى هذا بالتفاعل المتسلسل المستقر كما في المفاعلات النووية .

تشوه شكل النواة $^{236}U^{*}$ وتخصرها بسبب الاهتزازات العنيفة



انشطار النواة المركبة وانبعاث نيوترونات فورية $t<10^{-15}$ sec وانبعاث كاما فورية

س/هل يمكن لنواة ^{238}U ان تنشطر بالنيوترونات البطيئة ؟

ج/ ان النواة ^{238}U لا تنشطر الا بنيوترونات سريعة وذلك لاختلاف طاقات الترابط مع النواة ^{235}U . حيث ان ^{235}U هي نواة زوجية – فردية بينما نواة ^{238}U هي زوجية – زوجية اي ان طاقة ترابطها اكبر من طاقة ترابط ^{235}U ، وتبعا لذلك فالطاقة اللازمة لتهيجها وانشطارها ستكون اكبر اي ان النيوترون الحراري لا يكفي لتهيجها انما نيوترونات سريعة بحيث يكون مجموع طاقة ترابط النيوترون بالنواة مضافا لها طاقته الحركية قبل دخوله النواة كافيا لتهيج النواة وانشطارها .

ولذلك عند قصف ^{238}U بالنيوترونات الحرارية لا يحدث انشطار وانما يحدث تفاعل أسر كما في المعادلة التالية :

$$^{238}U + n \xrightarrow{thermal} {}^{239}U + \gamma$$

غير ان عملية الانشطار يمكن ان تحدث في ^{238}U باستخدام نيوترونات سريعة :

$$^{238}U + n \xrightarrow{fast} {}^{239}U^{*} \rightarrow fission$$

الاندماج النووي Nuclear fusion :-

هو اتحاد نواتين متصادمتين لتكوين نواة كبيرة وتحرير طاقة ، حيث يمكن عند اتحاد جسيمتين نوويتين ان تحرر طاقة لان كتل النوى الناتجة اقل من كتل الجسيمات المتفاعلة. ان قوى التنافر الكهروستاتيكية تكون قوية بين النوى المشحونة لذلك يستلزم اعطاؤها طاقة كافية للتغلب على هذا التنافر بحيث تقترب الجسيمتان او النواتان من بعضهما للدرجة التي تتغلب فيها القوى النووية التجاذبية على قوى التنافر الكهروستاتيكية . اي ان الاندماج بعيد الاحتمال للعناصر الثقيلة ويتركز العمل على اندماج النوى الخفيفة .

ان ابسط تفاعل اندماجي هو اقتناص النيوترون من قبل البروتون .

$$_1^1H + _0^1n \rightarrow _1^2H + 2.226\ MeV$$

$$_1^1H + _1^1H \rightarrow _1^4H + e^+ + \bar{\nu} + 1.35\ MeV$$

لقد فسر علماء الفضاء انتاج الطاقة الحرارية والضوء في النجوم والشمس بانه نتيجة للاندماج النووي عن طريق :

١-دورة بروتون – بروتون proton – proton cycle

$$_1^1H + _1^1H \rightarrow _1^2H + e^+ + \nu$$

$$_1^1H + _1^2H \rightarrow _2^3He + \gamma$$

$$_2^3He + _2^3He \rightarrow _2^4He + 2_1^1H$$

٢- وملخص الدورة (مجموع المعادلات الثلاثة) هو : -

$$4_1^1H \rightarrow _2^4He + 2e^+ + \nu + \gamma$$

٣-دورة كاربون نيتروجين carbon – Nitrogen cycle وكالتالي :-

$$_1^1H + _6^{12}C \rightarrow _7^{13}N + \gamma$$

$$_7^{13}N \rightarrow _6^{13}C + \beta^+ + \nu$$

$$_1^1H + _6^{13}C \rightarrow _7^{14}N + \gamma$$

$$_1^1H + _7^{14}N \rightarrow _8^{15}O + \gamma$$

$$_8^{15}O \rightarrow _7^{15}N + \beta^+ + \nu$$

$$^{1}_{1}H + {}^{15}_{7}N \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{4}_{2}He$$

وباضافة كل التفاعلات السابقة وحذف الحدود المشتركة نحصل على :-

$$4\,{}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + 2e^{+} + 2\nu + 26.7\ MeV$$

س/احسب قيمة Q للتفاعل :

$$^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}H + Q$$

حيث ان :

M_N= 14.0075 amu , M_α = 4.0039 amu

M_o= 17.0045 amu , M_p= 1.0081 amu

وكم هي طاقة العتبة لهذا التفاعل ؟ ثم ما مجموع الطاقة الحركية للنواة المتبقية والجسيم الخارج ؟

$Q = 931.5\ \{M_a + M_x - M_b - M_y\}$

$Q = 931.5\ \{4.0039 + 14.0075 - 1.0081 - 17.0045\}$

Q= - 1.118 MeV

ان (Q<0) وهذا يعني ان هذا التفاعل ماص او مستهلك للطاقة لان قيمة Q سالبة ، لذلك يستلزم اعطاء جسيمات الفا بالاقل طاقة عتبة مقدارها (T_{th}) لحدوث التفاعل :

$$T_{th} = -Q\left(\frac{M_x + M_a}{M_x}\right) = -(-1.118)\left(\frac{4.0039 + 14.0075}{14.0075}\right)$$

T_{th}= 1.4375 MeV

$Q = T_b + T_y - T_a$

$-1.118 = T_b + T_y - 1.4375$

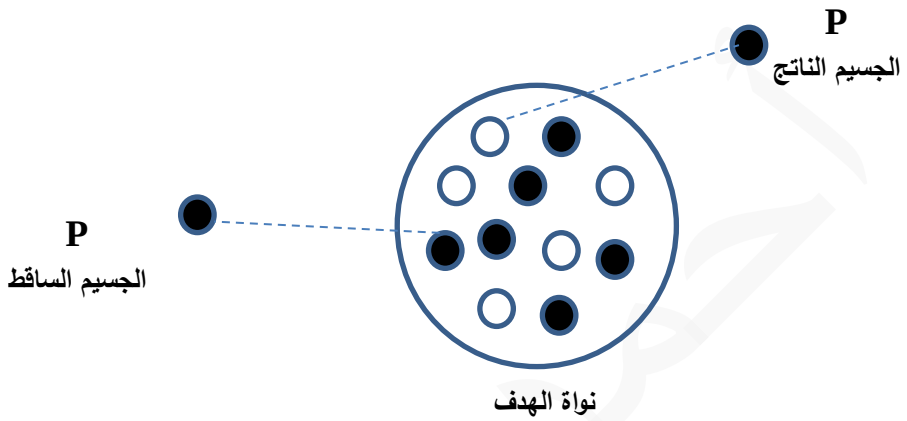
$T_b + T_y$= 0.3195 MeV

التفاعلات النووية المباشرة :-

هناك عدة انواع من التفاعلات النووية المباشرة وسوف نلخصها بما يلي:-

١-تفاعلات التشتت غير المرن (n,n) ، (p,p) :

يحدث هذا النوع من التفاعلات إذا كانت القذيفة نيوكليون (بروتون ، نيوترون) ذو طاقة عالية جدا وعند اصطدامه بأحد مكونات النواة يفقد جزء من طاقت وينطلق بالجزء المتبقي .

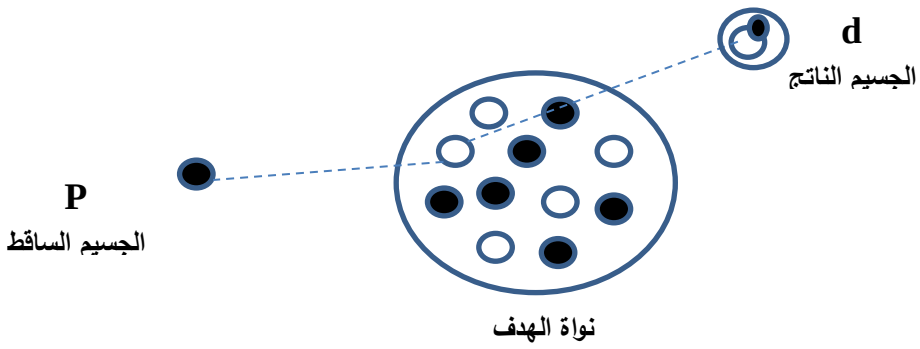


٢-تفاعلات (التطاير) تبادل الشحنات (n,p) – (p,n) :

في هذا النوع من التفاعلات لا يخرج الجسيم الساقط ولكن بدلا من ذلك يخرج جسيم اخر من النواة . فاذا سقط نيوترون خرج بروتون واذا سقط بروتون نتج نيوترون وكأن النيوكليون الساقط قد تبادل احد الميزونات مع النواة وخرج بخصائص جديدة.

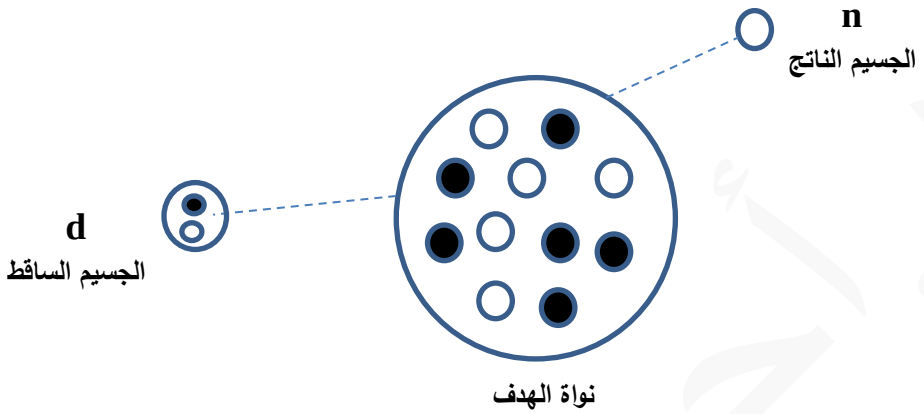
٣-تفاعلات الالتقاط (p.d) – (n.d) :

في هذا النوع من التفاعلات يلتقط النيوكليون الساقط على النواة نيوكليون مغاير له من سطح النواة ويخرج معا كنواة ديوترون . تحدث عملية الالتقاط غالبا على سطح النواة .



٤-تفاعلات الانخاع (d,n) – (d,p) :

على النقيض من تفاعلات الالتقاط فان الجسيم الساقط يكون ديوترون (بروتون+ نيوترون) وحيث ان طاقة الترابط النووي له ضعيفة فان اصطدام الديوترون بنواة الهدف يجعله يفقد احد مكوناته بينما يستمر النيوكليون الاخر في طريقه كناتج للتفاعل.



٥-تفاعلات تذبذب ودوران النواة الهدف :-

في هذا النوع من التفاعلات لا يخترق الجسيم الساقط النواة بل يقترب منها فقط ونتيجة لذلك يحدث رد فعل في نواة الهدف كلها مثل حدوث دوران او ذبذبة.