الفصل
الثامن

الفيزياء النووية

Nuclear Physics

8-1 بنية النواة *Nucleus structure*:

تتكون نواة الذرة من بروتونات *protons* ونترونات *neutrons* كتلها هي:

(كتلة البروتون) $m_p = 1.673 \times 10^{-27} kg = 1.007277u$

(كتلة النيترون) $m_n = 1.675 \times 10^{-27} kg = 1.008665u$

و (u) هنا هي عبارة عن وحدة القياس الذري الكتلي *atomis mass units*.

كما أن شحنة البروتون هي ($+e$) بينما النترون فهو غير مشحون. إنّ العدد الذري لعنصر ما هو عدد بروتونات نواة ذرة هذا العنصر. وأن البروتونات والنترونات تسمى معاً نيكلونات *nucleons* أو نويات.

وعلى الرغم من أن جميع ذرات عنصر ما تملك نفس عدد البروتونات في نواها إلا أن عدد النترونات يمكن أن يكون مختلفاً.

وهذا مايقودنا للحديث عن النظائر للعنصر الواحد *isotope* هذا العنصر، أن رموز النظائر تكتب على الشكل التالي:

$${}^{A}_{Z}X$$

حيث تشير الأحرف إلى:

X : الرمز الكيميائي للعنصر *chemical symobl*.

Z : العدد الذري للعنصر *atomic number* ويساوي إلى عدد بروتونات النواة.

A : العدد الكتلي للنظير *isotopc mass number* ويساوي إلى (عدد البروتونات + عدد نيترونات) النواة.

إذاً نظائر العنصر الواحد تمتلك عدداً متساوياً من البروتونات، وعدداً مختلفاً من النترونات.

8-2 طاقة الارتباط *Binding Energy*:

إن كتلة ذرة واحدة من المادة هي دائماً أصغر من مجموع كتل النترونات والبروتونات والالكترونات التي تكونها وأن الطاقة المكافئة لنقص الكتلة في الذرة تسمى طاقة ارتباط النواة، وأنه كلما كانت طاقة الارتباط كبيرة، كلما كانت النواة أكثر استقراراً. ويمكن حسا ب نقص الكتلة (Δm) لنواة مكونة من عدد (Z) بروتون وعدد (N) نترون إبتداء من كتلتها الذرية (m) وذلك باستخدام العلاقة التالية:

$$\Delta m = (Zm_H + Nm_n) - m$$

حيث إن:

m_H : كتلة ذرة الهيدروجين (المكونة من بروتون والكترون فقط).

وهي تساوي:

$$m_H = 1.007825u$$

وبغية إيجاد طاقة الإرتباط بوحدة القياس المستخدمة عادة وهي الميغا الكترون فولت (MeV)، فإن (Δm) يمكن أن تضرب بعامل التحويل:

$$931\frac{MeV}{u}$$

8-3 القوى الرئيسية في النواة *The basic nuclear forces*:

إن القوة ما بين النيكلونات المحافظة على جملة النواة الذرية بالرغم من القوى الكهربائية التنافرية التي تطبقها البروتونات على بعضها البعض، هي محصلة ما نسميه التأثير المتبادل لمجموع القوى، إنه تأثير تبادلي أساسي كالتأثير المتبادل

التجاذبي أو الكهرومغناطيسي وأنه لا يمكن تفسير أي منها بتابعية أي واحد آخر مهما كان.

كما أن التأثير المتبادل لا يملك إلا إمكانية ضعيفة بعكس التأثيرات المتبادلة التجاذبية الكهرومغناطيسية، لذا فإنه غير فعال إلا داخل النوى.

هذا ويوجد تأثير متبادل آخر بين النوى يسمى التأثير المتبادل الضعيف، وهو المسؤول عن إصدار أشعة بيتا *beta radiation emmision* وأن هناك معلومات حديثة تشير إلى أن التأثير المتبادل الضعيف يمكن أن يكون مصدر الكهرومغناطيسية وليس تأثيراً متبادلاً أساسياً كما كان يعتقد عند ظهور مثل هذه المعلومات الحديثة.

8-4 التفاعلات النووية *Nuclear reactions*:

تستطيع النوى أن تتحول إلى أنواع مختلفة وذلك بتفاعلها مع بعضها البعض بتفاعلات بينها. وبما أن النوى جميعها مشحونة إيجاباً، فإن أي اصطدام عالي الطاقة بين نواتين قريبتين من بعضهما البعض بغية التأثير المتبادل بينهما وهذا شرط أساس لحدوث التفاعلات النووية. ولابد من الإشارة هنا إلى أن النيترون الذي لا يملك شحنة يستطيع أن يثير تفاعلاً نووياً حتى وإن كان يتحرك ببطء.

وأخيراً لابد من التأكيد على أن العدد الكلي لنيترونات، وكذلك العدد الكلي لبروتونات المركبات يجب أن يكون مساوياً إلى الأعداد الكلية الموافقة للأجسام المتفاعلة.

8-5 الانشطار والاندماج *Nuclear fission and fusion*:

تمتلك النوى ذات الحجم المتوسط أكبر طاقات ارتباط لكل نيكلون وتكون أكثر

استقراراً من النوى الثقيلة أو الخفيفة. هذا ونطلق على انقسام نواة ثقيلة إلى نوى أخف مع تحرير طاقة حرارية اسم الانشطار النووي *nuclear fission*، فبعض النوى الضخمة كاليورانيوم ($^{235}_{92}U$) تخضع للانشطار عندما تمتص نيتروناً. وأنه عندما تحتوي مركبات الانشطار عدة نيترونات بالاضافة إلى نوى متولدة ينتج تفاعل بسلاسل حيث إن كل انشطار يمكن أن يقود إلى واحد أو عدة انشطارات جديدة وأنه إذا لم يمكن التحكم بهذا التفاعل فإنه ينتج قنبلة ذرية *atomic pump*، أما إذا أمكن التحكم به بحيث إن سرعة انتاج الحوادث تكون ثابتة، فإننا نحصل في هذه الحالة على مفاعل نووي *nuclear reactor* يفيد كمنبع طاقة لإنتاج الكهرباء أو دفع البواخر، أو أي استخدام سلمي آخر.

ملاحظة:

إن كل (3.1×10^{10}) مرة انشطار يحرر طاقه قدرها واحد جول. وأن انشطار جميع النوى المحتواة في واحد غرام يورانيوم (235) يحرر طاقة تساوي إلى الطاقة المتحررة من احتراق (2.6) طن كربون.

8-6 الإندماج النووي *Nuclear Fusion*:

الإندماج النووي هو عبارة عن اتحاد نواتين أو أكثر لتتشكل نواة أكثر ثقلاً، حيث تكون طاقة ارتباط النيكلون أكثر قوة ويرافق ذلك تحرير طاقة وأنه بغية تحريض تفاعل الاندماج يجب أن تتحرك النوى الأولية بسرعة عند دخولها في التصادمات وذلك بهدف التغلب على قوة التنافر الكهربائية المتبادلة بينها، ويعتبر الاندماج النووي مصدر طاقة الشمس والنجوم، حيث إن درجة الحرارة العالية بداخلها تعني بأن النوى تمتلك سرعات مرتفعة تقارب سرعة الضوء وكذلك فإن الضغط المرتفع يشير أيضاً إلى أن التصادمات النووية تحدث بكثرة.

ولتشغيل القنبلة الهيدروجينية نقوم أولاً بتفجير قنبلة الانشطار *fission* *pump* بغية انتاج الحرارة والضغط المرتفع الضروري لانتاج تفاعلات الاندماج. والمشكلة المطروحة هي كيفية بناء مفاعل بالاندماج بغية انتاج طاقة يمكن التحكم بها، تتركز على ايجاد طريقة لاحتواء مزيج نظائر مناسبة ساخنة وكثيفة وخلال زمن كافٍ بغية انتاج واضح للطاقة.

ملاحظة:

من أجل كتلة هليوم محددة تكون الطاقة المتحررة بالاندماج أكبر بعشرة مرات من تلك المتحررة بانشطار نفس الكتلة من اليورانيوم وهي أكبر (200) مليون مرة من تلك المتحررة من احتراق نفس الكتلة من الكربون.

8-7 النشاط الاشعاعي *Radioactivity*:

إن بعض نوى العناصر المشعة تكون غير مستقرة *excited*، وتخضع لتفككات فعالة إشعاعياً *deformation*، لتتحول إلى أكثر استقراراً. هذا، و يوجد أربع نماذج للتفكك الفعال إشعاعياً وهي:

1- اشعاع الفا *Alpha radiation* وخلاله يتم اصدار نواة الهليوم المكونة من نيترونين وبرتونين وأن تفكك ألفا يحدث في نوى كبيرة جداً لتصبح بعد ذلك نوى مستقرة.

2- اشعاع بيتا *Beta radiation decay*، وفيه يتم اصدار الكترون واحد، وذلك عند تحول أحد نيترونات النواة ذاتياً إلى بروتون، كما أن تفكك بيتا يحدث في نوى تكون فيها نسبة النيترونات إلى البروتونات كبيره وذلك بغية تأمين استقرارها.

3- التقاط الالكترونات *electron capture*، وفيه يتم امتصاص أحد الالكترونات الداخلية للذرة بأحد بروتونات النواة بغية تشكيل نيترون.

كما أن التقاط الالكترونات يحدث في نوى حيث تكون نسبة النترونات إلى البروتونات ضعيفة جداً وذلك بغية تأمين استقرارها.

4- تفكك غاما *Gama radiation decay*، وفيه يتم اصدار اشعاع غاما (موجة كهرومغناطيسية طولها الموجي أقصر وطاقتها الكوانتية *Quantume energy* أكبر من طاقة أشعة إكس) من نواة تملك طاقة فائضة، وهو يتم غالباً بعد حدوث أحد تفككات النماذج الأخرى كما أن تفكك غاما لا يغير من طبيعة النواة.

8-8 الدور (أو نصف العمر) *Half Life Period*:

يعرف دور نظير فعال اشعاعياً *half life of radioactive isotope* على أنه الزمن الضروري لتفكك نصف الكمية البدائية عند الزمن صفر، فإذا كان دور نظير ما هو خمس ساعات مثلاً وكانت الكمية البدائية لمادته تساوي *(100 gm)* فإنه بعد خمس ساعات يبقى منها *(50 gm)* غير متفكك، وبعد عشرة ساعات يبقى *(25 gm)*، وبعد (15) ساعة يبقى *(12.5 gm)* وهكذا دواليك.

ونعبر عن فترة نصف العمر $(T_{1/2})$ بالمعادلة الرياضية التالية :

$$T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

ويمكن تحديده من دراسة الخط البياني لانحلال العنصر الاشعاعي *decay curve*.

وهو لا يتعلق إلا بالتفاعل المدروس. وحيث إن (λ) ثابت التفكك الاشعاعي

decay constat وهو مميز للتفاعل المدروس. ونشير أيضاً إلى أن قانون التفكك الاشعاعي يأخذ الصيغة الآتية:

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

حيث

N_o : عدد النوى الأولية *initial number of atoms* القابلة للتفكك في اللحظة $t = o$.

N : عدد النوى غير المتفككة *the remaining number of atoms* في اللحظة (t).

(انظر الشكل 1-8).

وأن نشاط عينة إشعاعياً هو عبارة عدد التفككات الحاصلة في ثانية واحدة ويعبر عنه بالبيكريل *Becquerel* (تفكك واحد في الثانية $=1Bq$) وهو الاسم الذي كان يطلق على اشعاعات الفا و بيتا و غاما الصادرة عن المواد المشعة ويعبر عنها بالعلاقة التالية:

$$a = a_o \times e^{-\lambda t}$$

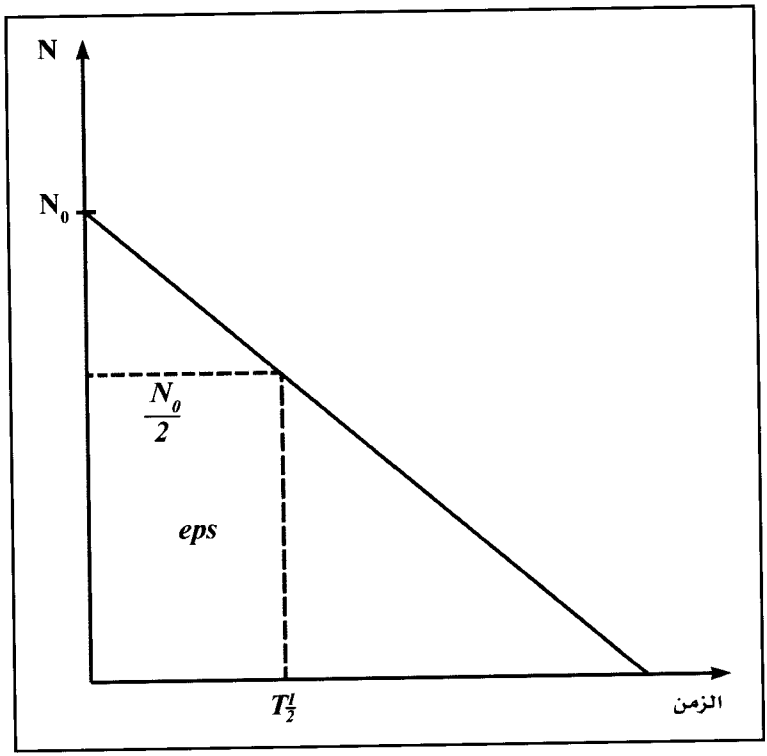
وأن :

$$a_o = \lambda N_o$$

حيث :

a_o : النشاط البدائي *rate of production of the active material* أي في اللحظة $t = 0$.

a : النشاط the *induced activity* في اللحظة (t).



الشكل (1-8) الخط البياني لتحلل الإشعاعي

ومن المناسب أن نشير هنا إلى ثابت آخر وهو متوسط أو معدل العمر للعنصر المشع *mean life time* ونشير له بالحرف الاتيني (τ)، حيث إن العلاقة بين ثابت التفكك الاشعاعي والذي اشرنا له باستخدام الحرف اللاتيني (λ) هي :

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T_{1/2}}{0.693}$$