



جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي

كلية العلوم الدقيقة

مجال علوم المادة - قسم الفيزياء -

# مطبوعة في مقياس:

## الفيزياء النووية

لطلبة السنة الثالثة فيزياء (LMD)

(الدروس والأعمال الموجهة)

من اعداد:

د. عطية محمد الهادي

تحتوي هذه المطبوعة على خبرة عدة سنوات من تدريس مقياس مادة الفيزياء النووية وفق البرنامج والمقررات الرسمية لطلبة السنة الثالثة فيزياء تخصص طاقة و اشعاع و فيزياء نظرية و فيزياء المواد . . . . في النظام الجديد.

كما تعتمد هذه المادة على أساسيات الفيزياء الكلاسيكية وترتكز على الفيزياء الذرية والحسابات الكمية بالإضافة إلى فيزياء الإحصائية و كهرومغناطيسية. . . . الخ.

ولقلة وندرة وجود مراجع باللغة العربية في اختصاص الفيزياء النووية فقد رأيت أنه من المناسب جمع هذه المحاضرات كمطبوعة ليستفيد منها الاستاذ الجامعي و الطلبة الجامعيين و وأساتذة المرحلة المتوسطة والمرحلة الثانوية وخاصة تلاميذ السنة الثالثة ثانوي- مادة الفيزياء- فصل الفيزياء الحديثة.

تحتوي هذه المطبوعة على محاضرات تعتمد على تفصيل الحسابات عند الضرورة وعلى الاختصار غير المخل أحيانا أخرى، بالإضافة إلى بعض التمارين المقترحة التي أجدها مهمة في تقوية فهم الطالب لمحتويات هذه المادة.

وتتضمن هذه المطبوعة سبعة فصول سنذكرها بالترتيب وباختصار كما يلي:

لقد تطرقنا في الفصل الاول إلى الخواص الفيزيائية للنواة مع شرح لبعض التجارب الأساسية في هذا المجال مثل تجربة ذر فورود، ثم انتقلنا إلى الخواص الكمية لمكونات النواة من بروتونات ونيوترونات وغيرها، والبنية الدقيقة للبروتونات والنيوترونات وبعض الجسيمات (مفهوم الكوارك)، الشحنة اللونية، الكواركات بين النظرية والواقع. و تكلمنا عن طبيعة القوى النووية بين نكليونين وصياغة تقريبية لشكل القوى النووية. و ناقشنا الطبيعة الزوجية للجسيمات الأولية وقوانين الانحفاظ في هذه الجسيمات.

أما في الفصل الثاني فقد تكلمنا عن حساب عزم رباعي الاقطاب الكهربائي و عزم رباعي الاقطاب الكهربائي و عزم رباعي الاقطاب الكهربي و عزم رباعي الاقطاب الكهربي و عزم رباعي الاقطاب الكهربي و عزم رباعي الاقطاب الكهربي. كما ركزنا على حساب رباعي الاقطاب المغناطيسي الذي يمكننا من معرفة معلومات عن شكل النواة.

تطرقنا في الفصل الثالث الى حساب طاقة الارتباط (الترابط) النووي والطاقات النوعية وحساب طاقات فصل البروتون والنيوترون عن النواة.

في الفصل الرابع درسنا ظاهرة النشاط الاشعاعي الذي هو عبارة عن تفكك (اضمحلال) تلقائي لنواة النظير مع اصدار جسيمات نووية. وعرفنا النظائر التي يحدث فيها هذا التفكك بالنظائر المشعة. سنتطرق إلى ما يعرف بالتفكك النووي، هو عبارة عن تفكك (انشطار) تلقائي للنواة النظير مع صدور جسيمات نووية و دراسة مكونات الذرة، كما سنتطرق في هذا الفصل إلى أنواع الثلاثة للإشعاعات و هي الفا ( $\alpha$ )، بيتا ( $\beta$ ) وغاما ( $\gamma$ ). و طبيعتها و طاقاتها.

اما في الفصل الخامس فقد تكلمنا عن النماذج النووية التي تصف و توضح المعلومات عن الانوية من خلال نموذج غاز فرمي ونموذج القطرة السائلة وأخيرا نموذج الطبقات.

وتطرقنا في الفصل السادس الى معادلات التفاعلات النووية ومعرفة الاجسام المقذوفة والأجسام القاذفة . . . وحساب طاقات التفاعلات النووية.

وفي الفصل السابع والأخير نتطرق الى التفاعلات الانشطارية والاندماجية والتي هي تطبيق الفصل السابق مع إعطاء تطبيق مباشر لهذه للتفاعلات النووية من خلال التكلم عن المفاعلات النووية.

في نهاية كل فصل اقترحنا مجموعة من التمارين والمسائل مكملة لهذه المحاضرات.

## المحتويات

2		مقدمة المؤلف
4		مقدمة عامة
5	الخواص العامة للنواة	الفصل الأول
14	العزوم النووية	الفصل الثاني
21	طاقة الارتباط (الترابط) النووية	الفصل الثالث
29	النشاط الاشعاعي والإشعاعات النووية	الفصل الرابع
46	النماذج النووية	الفصل الخامس
55	التفاعلات النووية	الفصل السادس
59	الانشطار والاندماج النووي	الفصل السابع
68		المراجع

أرجوا أن أكون قد وفقت في كتابة هذا المطبوعة وأن يستفيد منها الطلبة

يلظن الكثير أن فكرة الفيزياء النووية بدأت مع بداية الفيزياء الحديثة، وهي في الحقيقة بدأت منذ أن تم اكتشاف النواة من قبل العالم رذرفورد 1907، ولكنها بدأت تتضح أكثر مع بداية ظهور عصر الفيزياء الحديثة، وهذه الأخيرة كانت سببا في ظهور ما يعرف بفيزياء الجسيمات (الدقائق).

ولكن للأسف في بادئ الأمر لم تستغل التطبيقات المعروفة للفيزياء النووية في ما يفيد البشرية، بل كانت سبب دمار و هلاك و معاناة الملايين، حيث استغلت في الطاقة النووية والأسلحة النووية، ولكن الأبحاث فتحت مجال أوسع للتطبيقات المختلفة، فمنها في المجال الطبي (الطب النووي)، والتصوير بالرنين المغناطيسي، وفي مجال علم المواد (زرع الأيونات Ion implantation) وتحديد العمر باستخدام الكربون المشع.

الفيزياء النووية أصبحت في هذه الأيام ضرورة للعالم المتطور، فقد أصبحت إحدى الأسس الكبرى لبناء المستقبل نظرا لما توفره من إمكانيات جبارة وطرق سهلة للتحكم بالطاقة، فالفيزياء النووية الآن أصبحت تستعمل في كثير من حقول المعرفة كالطب و الصناعات و في الجيولوجيا و في الفضاء و الآثار و غيرها في الكثير من الاستخدامات.

ولذا وجب على الباحثين ان يعطوا اهتماما بالغا للطاقة النووية والتي من بينها الطاقة الكامنة التي يعود سببها لظاهرة التفكك النووي، الناتجة عن عدم استقرار الأنوية لأغلب العناصر حيث تكون محملة بعدد غير متكافئ من النيوترونات والبروتونات وتعمل على التخلص من هذه الطاقة الزائدة عن طريق إصدار الأشعة، وهذه الظاهرة لا تتأثر بأي من العوامل الخارجية، كالتغيرات في درجة الحرارة أو الضغط أو أي ظروف تحيط بالعنصر المشع، لذلك فهي من أكثر الظواهر الطبيعية ثباتاً من ناحية معدل حدوثها.

سنتكلم في هذه المطبوعة عن الخواص العامة للنواة وحساب عزم رباعي الاقطاب الكهربائي و عزم رباعي الاقطاب الكهربائي الكوانتي و نشر رباعي الاقطاب على الهزاز التوافقي و العزم المغناطيسي النووي وكيفية حساب طاقات الارتباط النووية وطاقات الفصل النكليوني و النشاط الإشعاعي والإشعاعات النووية. كما سنذكر النماذج النووية التي تصف وتعطي معلومات عن النواة. وسنقوم بحساب طاقات التفاعلات النووية، واعطاء فكرة عن المفاعلات النووية كتطبيق للتفاعلات الانشطارية والاندماجية بعرض الفصول الواحد تلو الآخر.

بدأت الفيزياء النووية سنة 1886 عندما اكتشف "هنري بيكرل" النشاط الإشعاعي، وبعدها قام العالم رذرفورد بوضع فرضياته عام 1911 بافتراض أن الذرة مكونة من كتلة موجبة الشحنة هي النواة ويبلغ قطرها حوالي ( $10^{-12}$  cm) والتي هي اصغر بكثير من قطر الذرة ( $10^{-8}$  cm) وتحيط الالكترونات بهذه النواة (بحيث يكون عدد الشحنات الموجبة مساويًا لعدد الالكترونات في الذرة المتعادلة)، وفي عام 1913 تم وضع أول نموذج متكامل لحركة الالكترونات في الذرة من طرف العالم بور.

إن اكتشاف النيوترون من قبل جادويك عام 1932 أعطى صورة أكثر وضوحا عن التركيب النووي مما أدى إلى ظهور فرضية هايزنبرغ سنة 1932 والتي تنص على أن النواة مكونة من البروتونات والنيوترونات.

**1.1 النواة :** تتكون المادة من وحدات متشابهة ومتناهية في الصغر تسمى الذرات وتختلف العناصر باختلاف ذراتها وتتركب ذرات العنصر من جسيم مركزي صغير الحجم يعرف بالنواة تدور حولها عدد من الإلكترونات وتتمركز الذرة في النواة الصغيرة وتتركب النواة بدورها من نوعين من الجسيمات المتناهية الصغر تعرف بالبروتونات و النيوترونات ويطلق عليهما ( النكليونات).

**2.1 الجسيمات الأولية:** هي جسيمات نجعل بنيتها الداخلية، وان مفهوم الجسم الأولي مفهوم نسبي يتوقف على مستوى معارفنا فقبل حوالي 70 سنة كانت الذرة تعد كائنا أوليا بينما نعلم الان أنها بنية معقدة، وكذلك النكليونات كانت جسيمات أولية واقترحت نماذج لبنيتها. ويمكن ان نقسم الجسيمات الأولية إلى قسمين حسب طبيعتها:

- جسيمات مادية وهي فيرميونات عددها المغزلي السبيني نصف عدد صحيح  $1/2, 3/2, 5/2 \dots$
- جسيمات القوى الطبيعية وهي البوزونات (عددها المغزلي عدد صحيح  $1, 3, 2, \dots$  الخ)

تتكون الفيرميونات من اللبتونات و الكواركات وتتأثر الجسيمات بالقوى الكهرومغناطيسية حيث تظهر الكواركات دائما متحدة على شكل مجموعات من 2 فأكثر مكونة جسيمات غير أولية، مثلا البروتون يتكون من 3 كواركات اما البوزونات هي عبارة عن فوتونات عديمة الكتلة يتم تبادلها أثناء تفاعلات بين جسيمات المادة.

ويمكن تصنيف الجسيمات المادية إلى ثلاث أقسام:

- 1- الباريونات: وهي جسيمات ثقيلة نسبيا مثل البروتونات والنيوترونات حيث أن البروتون والنيوترون يشكلان معا المكونات الأساسية للنواة ومن ثم يمثلان المادة النووية في الكون.
- 2- الميزونات : وهي جسيمات ثقيلة ومسؤولة عن تماسك البروتونات والنيوترونات داخل النواة ولعل أهمها وأكثرها شيوعا جسيم البيون.
- 3- اللبتونات : وهي مجموعة من الجسيمات الخفيفة تضم ستة أنواع:
- الإلكترتون أخفها وزنا ويحمل شحنة سالبة؛

- النيون أثقل ب 207 مرة من الالكترن ويحمل شحنة سالبة؛
- التاو أثقل ب 3500 مرة من الالكترن ويحمل شحنة سالبة؛

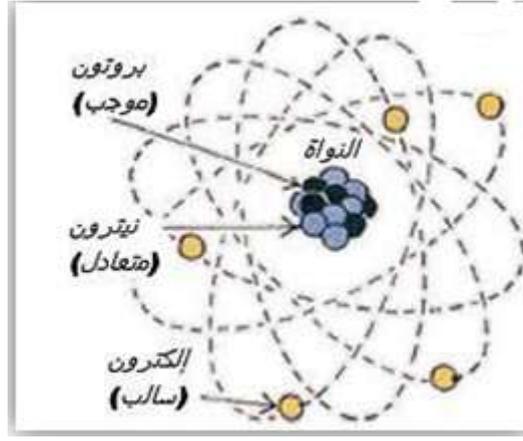
تأتي بعد ذلك جسيمات النيوتريانو الثلاثة وهي لبتونات خفيفة جدا تكاد كتلتها تساوي الصفر وهي:

- نيوترينو الإلكترن
- نيوترينو الميون
- نيوترينو التاو

اللبتونات (الشحنة)	الالكترن ( $e^-$ )	الميون ( $\mu$ )	التاو ( $\tau$ )
(1-)	(1-)	(1-)	(1-)
النيوترينو الالكتروني	النيوترينو الميوني ( $\nu_\mu$ )	النيوترينو الالكتروني ( $\nu_\tau$ )	
(0)	(0)	(0)	
الكواركات (الشحنة)	الفوق (U)	القاتن (C)	العلوي (b)
(1/3+)	(1/3+)	(1/3+)	(1/3+)
التحت (d)	الغريب (s)	السفلي (t)	
(1/3-)	(1/3-)	(1/3-)	(1/3-)

### 3.1 خصائص بعض الجسيمات :

- الإلكترونات : هي عبارة على جسيمات أولية تدور في مدارات حول النواة وتحمل شحنة كهربائية سالبة قيمتها المطلقة مساوية تماما لشحنة البروتون  $q = -1.6 * 10^{-19} C$  وكتلتها أصغر من كتلة البروتون بحوالي 1840 مرة حيث تبلغ  $m_e = 9.10939 * 10^{-31} Kg$  أي 0.000548 وحدة كتلة ذرية.
- البروتون : جسيم نووي يحمل شحنة كهربائية مساوية لشحنة الالكترن ولكنها موجبة و تبلغ كتلته وهو ساكن  $m_p = 1.67262 * 10^{-27} Kg$  اي 1.007276 وحدة كتلة ذرية.
- النيوترون : هو جسيم نووي متعادل الشحنة وكتلته في السكون تساوي تقريبا كتلة البروتون وتساوي  $m_n = 1.67493 * 10^{-27} Kg$  أي 1.008665 وحدة كتلة ذرية.



الشكل (1.1): شكل توضيحي لتكوين الذرة

#### 4.1 حاملات القوى الطبيعية:

والتي تسمى البوزونات - عددها المغزلي عدد صحيح 1، 2، ..... إلخ وهي عبارة عن فوتونات عديمة الكتلة يتم تبادلها أثناء التفاعلات بين الجسيمات المادة والتي عن طريقها يحصل مختلف تأثير القوى الطبيعية. ولديها أربعة أنواع:

- الغلوينات : وهي التي تحمل القوى النووية القوية
- البوزون ( $W \pm Z$ ): وهما اللذان يحملان القوى النووية الضعيفة.
- الفوتونات العادية: وهي التي تحمل القوى الكهرومغناطيسية بين الجسيمات المشحونة.
- الغرافيتون: وهو جسيم ما يزال افتراضيا حتى الآن ويحمل قوة الجاذبية ويتم تبادلها أثناء تجاذب الكتل.

#### 5.1 أنواع القوى الطبيعية:

1. القوى النووية القوية: وهي القوى التي تربط الجسيمات الأولية للمادة داخل النواة أي تربط بين البروتونات و النيوترونات و المكونات الأولية لها المسماة بالكواركات بمختلف أنواعها وأضدادها وهي أشد قوى معروفة وتحمل هذه القوى جسيمات غير مرئية تسمى الغرافيتون.
2. القوى النووية الضعيفة: هي قوى ذات مدى ضعيف جدا لا يتعدى حدود الذرة وتساوي  $10^{-13}$  من شدة القوى النووية القوية وتقوم بتفكيك بعض الجسيمات الأولية وتحليلها ولهذا فإن هذه القوى تتحكم في عملية إفناء العناصر المسؤولة عن النشاط الإشعاعي، وتحمل هذه القوى جسيمات سالبة الشحنة وتسمى بالبوزونات (Bosons) وهي ناقلة ثقيلة تحمل قوى ضعيفة.
3. القوى الجاذبية: هي قوى بعيدة المدى تبلغ شدتها  $10^{-39}$  من شدة القوى القوية وهي مسؤولة عن تجاذب الكواكب والنجوم و المجرات في المجموعات مثل المجموعات الشمسية، أما تأثيرها عن الجسيمات الأولية فهو ضعيف ومهمل في معظم الاحيان.

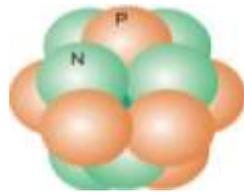
4. القوى الكهرومغناطيسية: تبلغ شدتها 1/137 من شدة القوى الشديدة وهي المسؤولة عن ترابط الذرات والجزيئات ويكون مداها أطول من القوى الشديدة وتتناسب شدتها عكسيا مع مربع المسافة بين الجسيمات أي أنها تخضع لقانون التربيع العكسي.

حاملات القوى	نوع القوة
الغلويونات (Gluons)	القوة النووية القوية
البوزون ( $Boson W \pm Z$ )	القوة النووية الضعيفة
الفوتون (Photon)	القوة الكهرومغناطيسية
الغرافيتون (Graviton)	قوة تجاذب

### 6.1 خصائص النواة:

نرمز لنواة عنصر ما برمز  ${}^A_Z X$  حيث:  $X$  هو الرمز الكيميائي الموافق للعنصر و  $Z$  هو العدد الذري أو الشحني و  $A$  هو العدد الكتلي ويكون عدد النيوترونات  $N$  هو ( $N=A-Z$ )

ملاحظة: يعطى العدد الكتلي  $A$  بوحد  $U_{ma}$  وهي وحدة كتلة الذرة

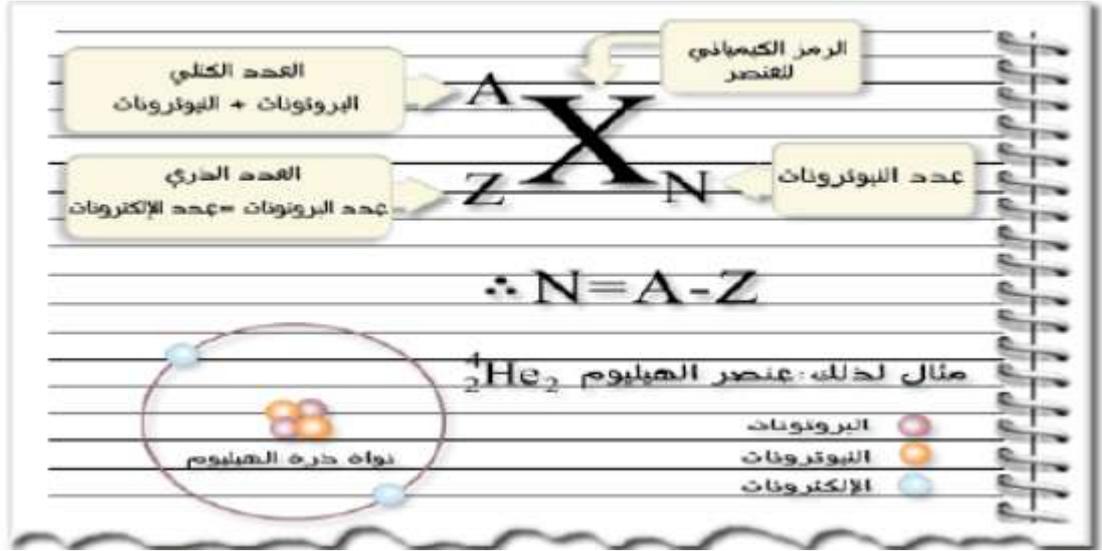


شكل (2.1): شكل توضيحي للنواة.

العدد الكتلي  $A$ : هو مجموعة البروتونات و النيوترونات المكونة لنواة وهو عدد صحيح ويرمز له برمز  $A$ .

العدد الذري  $Z$ : هو عدد البروتونات ويساوي عدد الالكترونات للذرة المتعادلة ويرمز له بالرمز  $Z$  ويعين العدد الذري الخصائص الكيميائية للذرة وبالتالي يحدد العنصر.

النكليونات: هو اسم يطلق على الجسيمات النووية أي البروتونات والنيوترونات ومجموع عددها هو العدد الكتلي إذن فهو مسمى مشترك لكل من البروتونات و النيوترونات.



**7.1 النظائر:** تحتوي نواة العنصر الواحد على عدد نفسه من البروتونات إلا انها يمكن أن تختلف فيما بينها في عدد النيوترونات وهذا يعني أن  $Z$  لعنصر واحد لا يتغير في حين يتغير  $A$  ويقال في هذه الحالة أن للعنصر الواحد عدة نظائر فمثلا الهيدروجين له ثلاث نظائر هم:  ${}^1_1\text{H}$ ,  ${}^2_1\text{H}$ ,  ${}^3_1\text{H}$

يوجد لكل عنصر نظائر تصل أحيانا إلى أكثر من 50 نظير، تكون نوى بعض العناصر مستقرة بينما أنواع أخرى غير مستقرة وقابلة للتفكك بإصدار إشعاع  $\alpha, \beta, \gamma$  ويتواجد العنصر في الطبيعة على شكل خليط لبعض نظائر بنسب مختلفة مثل:  ${}^{238}\text{U}(99.27\%) - {}^{235}\text{U}(0.72\%) - {}^{234}\text{U}(0.005\%)$

**الايزوبارات Isobares:** وهي التي يكون لها نفس العدد  $A$  وتختلف في قيمة  $N$  و  $Z$

**الايزوتونات Isotones:** وهي التي يكون لها نفس العدد  $N$  وتختلف في قيمة  $A$  و  $Z$

**الايزوتوبات Isotopes:** وهي التي يكون لها نفس العدد  $Z$  وتختلف في قيمة  $A$  و  $N$

**النوى المتماثلة:** وهي التي لها نفس العدد الكتلي  $A$  ولكنها تتعاكس في العدد الذري  $Z$  وعدد النيوترونات  $N$  أي عدد البروتونات في النواة الأولى يساوي عدد النيوترونات في الثانية والعكس صحيح مثال:  ${}^{17}_9\text{F}$ ,  ${}^{17}_8\text{O}$

**8.1 الوحدات المستعملة في الفيزياء النووية:** نستعمل في مادة الفيزياء وحدات النظام الدولي (SI)، أما في الفيزياء النووية فنستعمل وحدات خاصة

فمثلا: إنتقال الاكترون من مدار إلى آخر هي من رتبة  $10^{-19}$  جول هي صغيرة جدا بحيث يصبح غير

ملائم استعمال وحدات (SI)، ولذا نستبدل وحدة الجول بوحدة خاصة وهي  $\text{ev}$

$$1\text{ev} = 1.60217 * 10^{-19} \text{ Joule}$$

وحدة الكتل الذرية: بما أن كتلة الذرة صغيرة جدا فما بالك كتلة النواة، يستحسن استعمال وحدة جديدة والتي تسمى وحدة الكتل الذرية ونرمز لها ب  $U_{\text{ma}}$

$$1Uma \approx 931.49 \frac{Mev}{c^2} \quad \text{و} \quad 1Uma \approx 1.66 * 10^{-27} kg$$

الكتلة			
Mev/c <sup>2</sup>	Uma	Kg	الجسم
938.28	1.007276	1.67262*10 <sup>-27</sup>	بروتون
939.57	1.008665	1.67493*10 <sup>-27</sup>	نيوترون
0.510999	5.48579*10 <sup>-4</sup>	9.10939*10 <sup>-31</sup>	الإلكترون
938.783	1.007825	1.67353*10 <sup>-27</sup>	ذرة <sup>1</sup> <sub>1</sub> H
3727.38	4.001506	6.64466*10 <sup>-27</sup>	نواة <sup>4</sup> <sub>2</sub> He
11177.9	12.000000	1.99265*10 <sup>-27</sup>	ذرة <sup>12</sup> <sub>6</sub> C

**9.1 الخصائص الأساسية للنواة:** بينت التجارب مثل تجربة العالم رذرفورد على أن أغلب اقطار الانوية في حدود  $10^{-14}m$ ، بينما قطر الذرة في حدود  $1A^0$ ، كما بين طومسون أن كتلة الإلكترون في ذرة الهيدروجين هي  $0.000548579Uma$  بينما كتلة الذرة <sup>12</sup><sub>6</sub>C هي  $12Uma$ ، من القياسات التجريبية للإلكترون عن طريق عناصر الانوية المختلفة فإن كثافة البروتون داخل الانوية تعطى بالعلاقة التالية:

$$f_p(r) = \frac{P_p}{1 + e^{\frac{r-R}{a}}} = \frac{P_{proton}}{(\rho^3)}$$

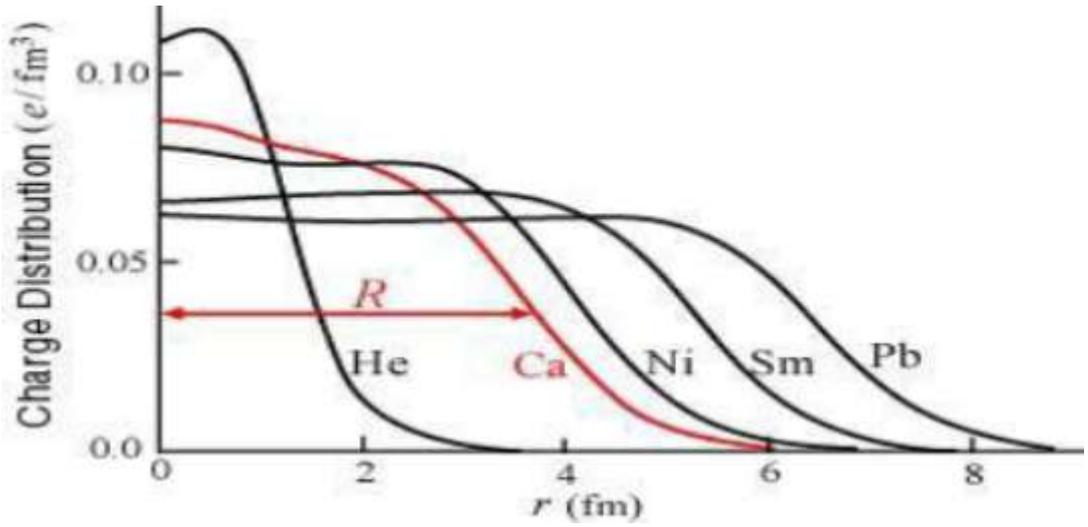
$R$ : تمثل قطر النواة  $r$ : البعد عن مركز النواة  $a$ : يمثل سمك السطح للمنطقة الخارجية للنواة

ملاحظة: حساب الكثافة يكون صغير جدا بالعلاقة التالية:

$$\iiint \rho_p(r) = Z$$

$$\iiint \rho_n(r) = N$$

$$\frac{\rho_n(r)}{\rho_p(r)} = \frac{N}{Z} = \frac{A-Z}{Z}$$



من خلال المنحنى نجد أن نصف قطر النواة متناسب مع  $A^{1/3}$  بنفس المقدار تقريبا، و  $r$  يمثل ثابت التناسب يستبدل ب  $r_0 = 1.1 fm$  وعليه

نصف قطر النواة تكون بالعلاقة التالية:  $R = r_0 A^{1/3}$  وتكون بوحدة  $fm$

ملاحظة:  $1 fm = 10^{-15} m$

ويكون حساب حجم النواة كالتالي  $V = \frac{4}{3} \pi R^3$  ومنه يعرف  $V$  بالعلاقة التالية:  $V = \frac{4}{3} \pi A r_0^3$

تتكون النواة من مجموعة من النكليونات ومنها البروتونات التي تتنافر مع بعضها البعض بفعل قوى تسمى قوى كولومب ومع ذلك تبقى النواة مستقرة بفضل القوة النووية القوية التي هي من خصائص النواة.

### 10.1 كثافة النواة وكثافة النكليونات:

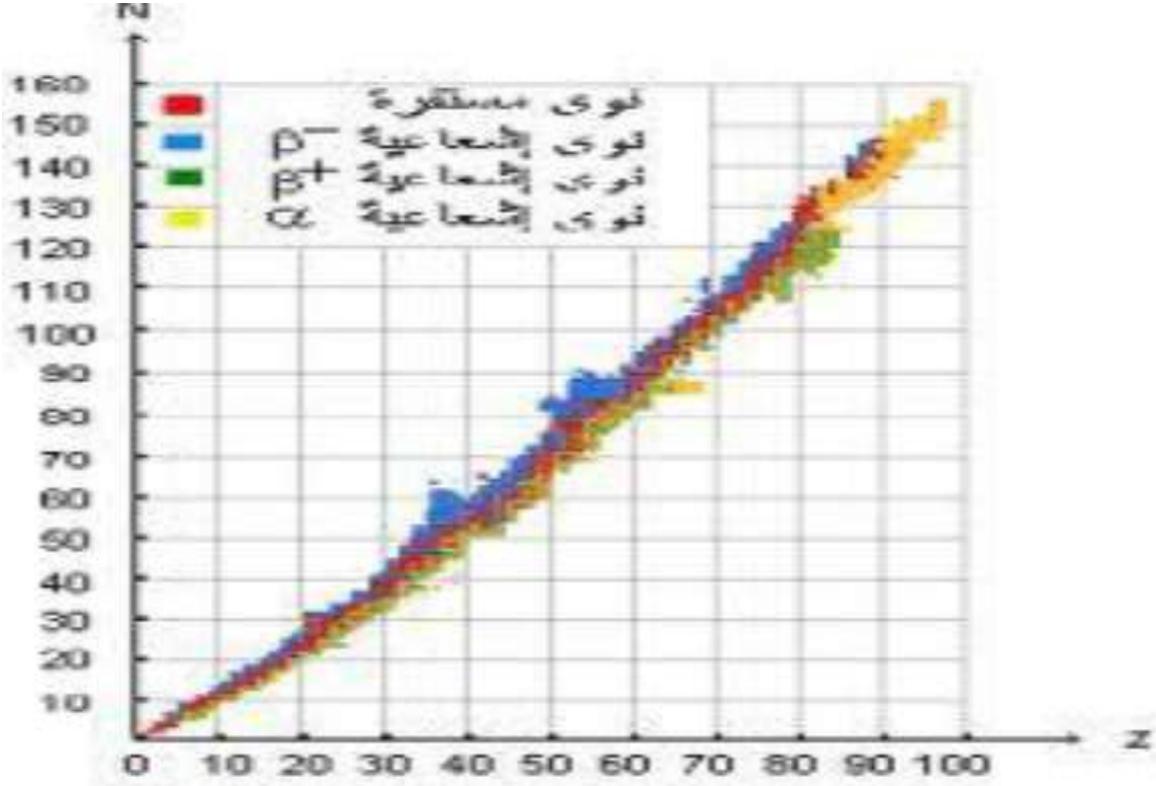
$$f(r) = f_p(r) + f_n(r) = \left[ 1 + \frac{A-Z}{Z} \right] \rho_p(r) = \frac{A}{Z} \rho_p(r)$$

$$f(r) = \frac{\rho}{1 + e^{-(r-R/a)}} \cdot \frac{\text{nuclion}}{(fm)^3} \quad / \quad \rho^0 = \frac{A}{Z} \rho_p^0(r)$$

يمثل الجدول كثافة بعض الانوية بدلالة  $r$

$^{208}\text{Pb}$	$^{109}\text{Ag}$	$^{16}\text{O}$	النواة
6.65	5.33	2.61	$R(fm)$
0.526	0.523	0.513	$a(fm)$
0.159	0.157	0.156	$\rho_0(fm^3)$
1.122	1.116	1.036	$R/A^{1/3}$

**11.1 استقرار النواة:** تملك انوية العناصر الخفيفة المستقرة عدد متساوي تقريبا من البروتونات والنيوترونات إلا أنه بازدياد كتلة العنصر تزداد نسبة عدد النيوترونات على عدد البروتونات وتظهر هذه الحقائق في الشكل



نلاحظ من الشكل أن النقط الواقعة على المنطقة المتعرجة أو حزم ثابتة تمثل نظائر ثابتة أما النقط خارج هذه المنطقة فتمثل عناصر مشعة فإذا كانت نسبة  $N/Z$  للنواة عالية جدا يقال أنها غنية بالنيوترونات لذلك يجب أن تمر بالانحلال الإشعاعي الذي يقلل فيه نسبة النيوترونات إلى البروتونات لتصل إلى قيمة الاستقرار ( $N/Z = 1$ ) في هذه الحالة يجب على النواة أن تقلل من قيمة  $N$  وتزداد قيمة  $Z$  إذ يمكن عمل ذلك بتحويل النيوترونات إلى البروتونات وذلك بإنبعاث جسيمات  $\beta^-$  لكن عند ظهور البزترون بدل البروتون بإنبعاث جسيمات  $\beta^+$  أو امتصاص النواة الالكترن المداري. نلاحظ أن جميع الانوية تكون غير مستقرة تجاه النشاط الإشعاعي بإنبعاث جسيمات ألفا في حين أن البعض تكون غير مستقرة أيضا تجاه انحلال بيتا. أي يمكن تقسيم المنحنى إلى ثلاث مناطق:

1- الأنوية التي لها  $Z=20$  هنا تكون النسبة  $N/Z$  مستقرة مساوية للقيمة 1 أو 1.1  
 2- الأنوية التي لها  $Z=20-83$ ، تزداد نسبة  $N/Z$  للأنوية المستقرة للقيمة 1.5، أي أننا نحتاج إلى عدد أكبر من النيوترونات لزيادة القوى النووية للجذب حتى تتغلب على قوى التنافر الكولومبية التي تنشأ بين العدد الكبير من البروتونات.

3- الأنوية التي لها  $Z>83$  هنا تزداد القوى الكولومبية بين البروتونات بحيث يستحيل الحصول على أنوية مستقرة للعناصر ذات العدد أكبر من 83.

## 12.1 التمارين المقترحة:

التمرين الاول: عين نصف القطر النووي لكل من الانوية التالية  ${}^{216}_{64}\text{Po}$   ${}^{125}_{53}\text{I}$   ${}^{64}_{29}\text{Cu}$   ${}^4_2\text{He}$  ارسـم منحنى نصف القطر بدلالة عدد النكليونات A علق على هذا المنحنى.

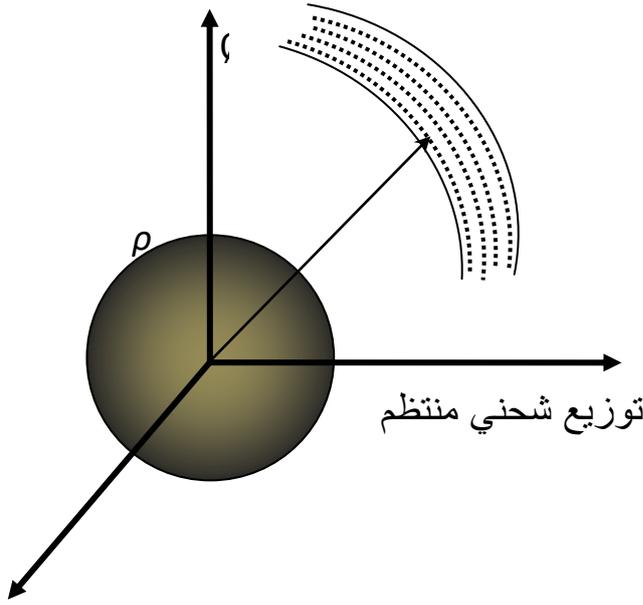
التمرين الثاني: ماهي طاقة التنافر الكولومي بين بروتوني  ${}^3_2\text{He}$  اذا افترضنا ان المسافة بينهما هي نصف قطر نووي (الجواب ب Mev).

التمرين الثالث: بافتراض ان النواة على شكل كرة نصف قطرها (R) وشحنتها (+Ze) موزعة بانتظام على حجمها احسب الطاقة المخزنة الكهربائية Bc بدلالة A, Z,  $a_c$  لدينا  $a_c = 3e^2/5.4\pi\epsilon_0 r_0$  ,  $R = r_0 A^{1/3}$  ,  $dBc = dq(v(\infty) - v(r))$ .

العزوم النووية لها اهمية بالغة في الفيزياء النووية لأنها تعطي معلومات مفيدة عن النواة مثلًا رباعي الاقطاب المغناطيسي الذي يمكننا من معرفة معلومات عن شكل النواة.

## 1.2 متعدد الأقطاب النووي:

الالكترون الخارجي يتفاعل مع النواة كهربائيا نفرض أن للنواة محور تناظر و ايضا ان للنواة توزيع شحني كثافته  $\rho$  ونفرض كذلك أن الالكترونات الخارجية كثافتها هي  $\rho_e$



بالقرب من النواة  $\rho_e(0) = 0$

نريد حساب الطاقة المكتسبة للنواة من جراء تفاعلها مع الكمون الخارجي

$$E = q_1\phi(r_1) + q_2\phi(r_2) + q_3\phi(r_3) = \iiint \rho(r)\phi(r) dr$$

$$E = \iiint_{\text{النواة}} \rho(r)\phi(r) dv$$

وبما أن حجم النواة صغير جدا فإن  $r$  في جواره اذن نقوم بنشر  $\phi(r)$  نشرًا محدودا

$$f(x,y) = f(0,0) + x \frac{\partial f(0)}{\partial x} + y \frac{\partial f(0)}{\partial y} + \frac{x^2}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{xy}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} + \frac{y^2}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{yx}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}$$

$$f(x,y,z) = f(0,0,0) + x \frac{\partial f(0)}{\partial x} + y \frac{\partial f(0)}{\partial y} + z \frac{\partial f(0)}{\partial z} + \frac{x^2}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{xy}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} + \frac{xz}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial z} + \frac{y^2}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{yx}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial z} + \frac{z^2}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} + \frac{yz}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial y \partial z} + \frac{zx}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial z \partial x} + \frac{zy}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial z \partial y}$$

$$E = \int \rho(r) \left[ \varphi(0.0.0) + x \frac{\partial \varphi(0)}{\partial x} + y \frac{\partial \varphi(0)}{\partial y} + z \frac{\partial \varphi(0)}{\partial z} + \dots + \right] dv$$

$$= \varphi(0) \int \rho(r) d^3 r + \int \rho(r) (r \cdot \nabla \varphi) d^3 r + \int \frac{\rho(r)}{2} \left( x^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + y^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + z^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \right) d^3 r +$$

$$\int \rho(r) \left( xy \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y \partial x} + xz \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial z} + yz \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y \partial z} \right) d^3 r$$

الحد الأخير يمثل محور تناظر النواة إذن:  $z = y$

$$E = Ze \varphi(0.0.0) - \int \rho(r) r \cdot E(0.0.0) d^3 r + w$$

$$w = 1/2 \int \rho(r) \left[ \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}(0.0.0)(x^2 + y^2) + z^2 \frac{\partial^2 \varphi(0.0.0)}{\partial z^2} \right] d^3 r$$

$$E = Ze \varphi(0.0.0) - E \int \rho(r) r dr + w$$

$$w = 1/2 \int \rho(r) \left( x^2 \frac{\partial^2 \varphi(0)}{\partial x^2} + y^2 \frac{\partial^2 \varphi(0)}{\partial y^2} \right) d^3 r + 1/2 \int \rho(r) z^2 \frac{\partial^2 \varphi(0)}{\partial y^2} d^3 r$$

$$\Delta \varphi = -\frac{\rho_e}{\epsilon_0}, \quad \Delta \varphi(0) = -\frac{\rho_e(0)}{\epsilon_0} = 0, \quad \Delta \varphi(0) = 0$$

$$2 \frac{\partial^2 \varphi(0)}{\partial x^2} = -\frac{\partial^2 \varphi(0)}{\partial z^2}$$

$$w = -1/4 \int \rho(r) \frac{\partial^2 \varphi(0)}{\partial z^2} (x^2 + y^2) d^3 r + \frac{1}{2} \int \rho(r) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} d^3 r$$

$$= \frac{1}{4} \int \rho(r) (2z^2 - (x^2 + y^2)) d^3 r \cdot \frac{\partial^2 \varphi(0)}{\partial z^2} = \frac{1}{4} \int \rho(r) (3z^2 - r^2) d^3 r \frac{\partial^2 \varphi(0)}{\partial z^2}$$

$$\varphi_{zz} = \frac{1}{e} \int \rho(r) (3z^2 - r^2) d^3 r$$

$$w = \frac{e}{4} \varphi_{zz} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} (0.0.0)$$

ملاحظة: يعرف ثنائي القطب بـ

$$\vec{p} = q \vec{r}$$

ولدينا في الأخير:

$$E = Ze \varphi(0.0.0) - \vec{p} \cdot \vec{E} + \frac{e}{4} \varphi_{zz} \frac{\partial^2 \varphi(0.0.0)}{\partial z^2}$$

$$\vec{p} = \int \rho(\vec{r}) \vec{r} d^3 \vec{r}$$

2.2 تفاعل رباعي الأقطاب:

لتكن نواة إهليلجية الشكل محاورها (a.b)

$$\varphi_{zz} = \frac{1}{e} \iiint \rho(\vec{r})(3z^2 - r^2) d^3r$$

ولدينا ثابت:  $\rho_0 = \rho$

$$\rho_0 = \frac{Ze}{V} = \frac{3}{4\pi} \frac{Ze}{a^2b}$$

$$V = \frac{4}{3} \pi a^2b$$

$$\varphi_{zz} = \frac{\rho_0}{e} \iiint (3z^2 - r^2) d^3r$$

نستعمل الإحداثيات الأسطوانية:

$$3z^2 - r^2 = 3z^2 - (\rho^2 - z^2) = 2z^2 - \rho^2 \quad / \quad dv = 2\pi\rho d\rho dz$$

ومن معادلة الاهليلج - قطع ناقص-

$$\frac{x^2 + y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1 \Rightarrow \frac{\rho^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1$$

$$\rho = a \sqrt{1 - \frac{z^2}{b^2}}$$

$$\varphi_{zz} = \frac{3}{4\pi} \frac{Z}{a^2b} \int dz [\rho(2z^2 - \rho^2)] 2\pi d\rho$$

$$= \frac{3}{2} \frac{Z}{a^2b} \int_{-b}^b dz \int_0^{a\sqrt{1-\frac{z^2}{b^2}}} \rho(2z^2 - \rho^2) d\rho$$

$$\varphi_{zz} = \frac{2}{5} Z(b^2 - a^2)$$

طاقة تفاعل رباعي الأقطاب:

$$w = \frac{e}{4} \varphi_{zz} \frac{\partial^2 u(0.0.0)}{\partial z^2}$$

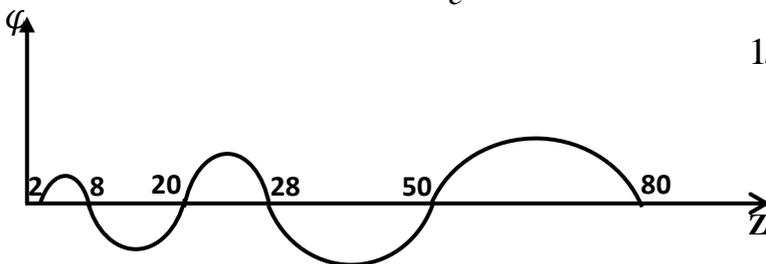
$0 < \varphi_{zz}$  عندما  $a < b$  نواة متطاولة

$0 > \varphi_{zz}$  عندما  $a > b$  نواة مفلطحة

تفاعل رباعي الاقطاب يحسب ايضا تجريبيا ومن خلاله نعرف شكل النواة

$$\varphi_{zz} = \frac{1}{e} \iiint \rho(3z^2 - r^2) dv$$

وحدة  $\varphi_{zz}$  هي  $1bar = 10^{-16} m$



الانوية التي تملك 50،28،20،8،2 و 82 بروتونا أو 50،28،20،8،2، أو 126 نيوترونيا هي انوية كروية الشكل تسمى هذه الأعداد بالأعداد السحرية وتسمى أيضا أنويتها بالأنوية السحرية.

### 3.2 الصيغة الكمومية لرباعي الأقطاب $\Phi_{ZZ}$ :

نعرف الصيغة الكمومية لرباعي الأقطاب  $\Phi_{ZZ}$  بإستعمال مبدأ التكميم

$$\Phi_{ZZ} = \frac{e}{4} \iiint \Psi^*(\vec{r})(3Z^2 - r^2)\Psi(\vec{r})d^3\vec{r} = \iiint \Psi^*(\vec{r})(3Z^2 - R^2)\Psi(\vec{r})d^3\vec{r}$$

$$= \langle 3Z^2 - R^2 \rangle$$

وليكن  $\vec{J}$  العزم النووي الكامل:

$$J_z = \|\vec{J}\| \cos\theta \Rightarrow \cos\theta = \frac{\|\vec{J}_z\|}{\|\vec{J}\|} \Rightarrow \cos^2\theta = \frac{J_z^2}{\|\vec{J}\|^2}$$

$$\cos^2\theta = \frac{\hbar^2 m^2}{\hbar^2 J(J+1)} = \frac{m^2}{J(J+1)}$$

$$3\cos^2\theta - 1 = \frac{3m^2 - J(J+1)}{J(J+1)}$$

$$\langle R^2 \rangle = \frac{3m^2 - J(J+1)}{\hbar^2 J(J+1)}$$

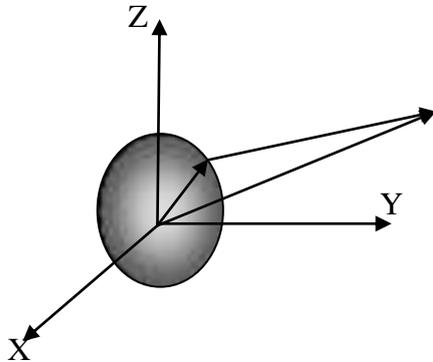
ملاحظة: العزم الرباعي الذاتي  $\langle R^2 \rangle = \langle r^2 \rangle$

### 4.2 العزم المغناطيسي للنواة:

الشحن داخل النواة في حركة سريعة مما يكون تيارات شديدة، نريد حساب الحقل المغناطيسي الناتج عن النواة نستعمل علاقة: *Biot - Savar*

$$\vec{A}(\vec{R}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \iiint \frac{\vec{J}(\vec{r})}{\|\vec{R} - \vec{r}\|} d^3\vec{r}$$

$\vec{A}(\vec{R})$  شعاع الكمون المغناطيسي في النقطة M



$$\vec{r} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad \vec{R} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

$$\vec{B}(\vec{R}) = (\vec{\nabla} \wedge \vec{A})(\vec{R})$$

$$\frac{1}{\|\vec{R} - \vec{r}\|} = f(\vec{r}) = f(x, y, z)$$

نشر في جوار الصفر

$$f(0,0,0) = f(0,0,0) + x \frac{\partial f}{\partial x}(0,0,0) + y \frac{\partial f}{\partial y}(0,0,0) + z \frac{\partial f}{\partial z}(0,0,0)$$

$$f(0) = \frac{1}{R} \left( \frac{\partial f}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \frac{1}{(x-X)^2 + (y-Y)^2 + (z-Z)^2} \right)$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{(x-X)}{\|\vec{R}-\vec{r}\|^3} \cdot \frac{\partial f}{\partial y} = \frac{(y-Y)}{\|\vec{R}-\vec{r}\|^3} \cdot \frac{\partial f}{\partial z} = \frac{(z-Z)}{\|\vec{R}-\vec{r}\|^3}$$

$$\frac{1}{\|\vec{R}-\vec{r}\|} \approx \frac{1}{R} + x \frac{X}{R^3} + y \frac{Y}{R^3} + z \frac{Z}{R^3}$$

$$\frac{1}{\|\vec{R}-\vec{r}\|} \approx \frac{1}{R} + \frac{\vec{r} \cdot \vec{R}}{R^3}$$

$$\vec{A}(\vec{R}) = \frac{u_0}{4\pi} \iiint \frac{J(\vec{r})}{\|\vec{R}-\vec{r}\|} d^3\vec{r} = \frac{u_0}{4\pi} \iiint J(\vec{r}) \left( \frac{1}{R} + \frac{\vec{r} \cdot \vec{R}}{R^3} \right) d^3\vec{r}$$

$$\vec{A}(\vec{R}) = \frac{u_0}{4\pi} \iiint J(\vec{r}) \frac{\vec{r} \cdot \vec{R}}{R^3} d^3\vec{r}$$

$$(\vec{a} \wedge \vec{b}) \wedge \vec{c} = (\vec{b} \cdot \vec{a}) \cdot \vec{c} - (\vec{c} \cdot \vec{a}) \vec{b}$$

$$(\vec{r} \wedge \vec{J}) \wedge \vec{R} = (\vec{J} \cdot \vec{r}) \cdot \vec{R} - (\vec{R} \cdot \vec{r}) \cdot \vec{J}$$

$$\vec{A}(\vec{R}) = \frac{u_0}{4\pi} \iiint (\vec{J} \cdot \vec{r}) \cdot \vec{R} + (\vec{R} \cdot \vec{r}) \cdot \vec{J} d^3\vec{r}$$

$$\approx \frac{u_0}{4\pi} \iiint (\vec{r} \wedge \vec{J}(\vec{r})) d^3\vec{r} \wedge \vec{R}$$

العزم المغناطيسي الكامل لنواة هو:

$$\vec{\mu} = \frac{1}{2} \iiint (\vec{r} \wedge \vec{J}) d^3\vec{r}$$

التفاعل المغناطيسي للنواة:

$$\vec{A}(\vec{R}) = \frac{u_0}{2\pi} \frac{\vec{\mu} \wedge \vec{R}}{R^3}$$

## 5.2 التمارين المقترحة:

التمرين الأول: عزم رباعي الأقطاب الكهربائي

بافتراض النواة مشحونة شحنة  $\rho(\vec{r})$  موزعة بانتظام على حجمها  $V$

1- أحسب عزم رباعي الأقطاب في الحالات التالية بفرض أن ثابت:  $\rho = \rho_0$

أ. نواة كروية الشكل نصف قطرها  $R$

ب. نواة اهليلجية الشكل محاورها  $(a,b)$

ج. أدرس إشارة  $Q$  حسب قيم  $a,b$

2- النواة متأثرة بالتوزيع الشحني للإلكترونات المحيطة  $\rho_e(\vec{r})$

أ. ليكن  $V_e$  الكمون الناتج عن الإلكترونات - أكتب معامل بواسون بين  $V_e$  و  $\rho_e$

ب. أعطي عبارة الطاقة الكامنة  $W_e$  للنواة لهذا التفاعل.

ج. ننشر  $V$  بجوار (0) ونهمل الحدود من الدرجة الثالثة، أحسب التفاعل رباعي الأقطاب الكهربائي

$$\frac{\partial^2 V_e}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 V_e}{\partial y^2} \text{ للنواة الاهليلجية علما أن}$$

**التمرين الثاني:** عزم رباعي الأقطاب الكهربائي الكوانتي (الكمي)

ليكن  $Q_{ij}$  عزم رباعي الأقطاب الكهربائي الكلاسيكي (الكارتيزي) نعرف المؤثر

$$\hat{Q}_{ij} = \left( 3 \hat{x}_i \hat{x}_j - \delta_{ij} R^2 \right)$$

1- ما هي العلاقة بين  $Q_{ij}$  و  $\hat{Q}_{ij}$

$$\text{أحسب } \hat{Q}_{zz} \text{ نفرض أن } Z = R \cos \theta \text{ و } \hat{Q}_{int} = \frac{1}{e} \langle R^2 \rangle \text{ و } \cos \theta = \frac{j^2}{\sqrt{j(j+1)}}$$

(العزم الذاتي)  $Q_{int}$

**التمرين الثالث:** ننشر عزم رباعي الأقطاب على الهزاز

$$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \iiint \frac{\rho(\vec{r}') d^3 r'}{|\vec{r} - \vec{r}'|}$$

$$\text{ونعرف دالة غرين (fonction de Green)} \quad G_0 = \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|}$$

$$\text{ونشر دالة غرين على الهزاز الكروي} \quad G_0 = \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} = \sum_{l,m} \frac{4\pi}{2l+1} \frac{r'^l}{r^{l+1}} y_l^m(\theta', \varphi') y_l^{*m}(\theta, \varphi)$$

$$1- \text{ أثبت أن } Q_1^m = \int \rho(r) r^1 y_1^m(\theta, \varphi) d^3 \vec{r}$$

هو متعدد الأقطاب الكهربائي الجديد

$$2- \text{ أثبت أن } Q_{20} = \sqrt{\frac{5}{16\pi}} Q_{zz} \text{ نعطي } y_2^0 = \sqrt{\frac{5}{16\pi}} (3\cos^2(\theta) - 1)$$

**التمرين الرابع:** العزم المغناطيسي النووي

نريد حساب الحقل المغناطيسي B النووي

-1 انطلاقا من العلاقة بين الحقل المغناطيسي وكثافة التيار  $\vec{J}(\vec{r})$  أثبت أن

$$\Delta(\vec{r} \cdot \vec{B}) = -4\pi\vec{r} \cdot (\vec{\nabla} \wedge \vec{J}(\vec{r}))$$

$$\vec{r} \cdot \vec{B} = \iiint \frac{d^3\vec{r}' \vec{r}' \cdot (\vec{\nabla}' \wedge \vec{J}(\vec{r}'))}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \quad \text{نعتبر أن} \quad -2$$

ونستعمل نشر غرين كما في التمرين 03

- أثبت أن عزم متعدد الأقطاب المغناطيسي يعطي

$$M_1^m = \frac{1}{2l+1} \int \vec{r}' \wedge \vec{J}(\vec{r}') \vec{\nabla}' \left( r' y_l^m(\theta, \varphi) \right) d^3\vec{r}'$$

$$\vec{\mu} = \frac{1}{2} \iiint d^3\vec{r}' (\vec{r}' \wedge \vec{J}(\vec{r}')) \quad \text{و } M_1^m \text{ وبين العلاقة بين } M_1^m \text{ و } M_0^0 \quad -3$$

$$\vec{B} = -\vec{\nabla}\Phi(\vec{r}) \quad \text{نفرض أن} \quad -4$$

$$\Phi(\vec{r}) = \sum_{l,m} \frac{4\pi}{2l+1} \frac{M_l^m y_l^{*m}(\theta, \phi)}{r^{l+1}} \quad \text{أثبت أن}$$

من أجل فهم طبيعة القوة النووية أجريت عدة تجارب، بينت أن القوة النووية هي أقوى من أية قوة أخرى معروفة مثل القوة الكهربائية أو قوة الجذب الكتلي، كذلك فإن هذه القوة تمتاز بكونها قوة قصيرة المدى واعتمادًا على فرضية هايزنبرغ التي تنص على أن القوة النووية تنتج عن تبادل الدقائق بين المكونات النووية فقد استطاع يوكاوا عام 1935 أن يثبت أن بعض خواص القوة النووية يمكن تفسيرها، إذ افترضنا أنه يتم تبادل جسيم ثقيل وقد تم اكتشاف هذه الجسيمات بعد ذلك في الأشعة الكونية وتسمى بالميزونات.

تؤثر القوة النووية على النيوكليونات ويؤدي ذلك إلى ترابط هذه الأخير وتكوين البناء المترابط و المعروف باسم النواة، ولكي تتفكك النواة إلى النيوكليونات المكونة لها فإنه يجب منحها كمية معينة من الطاقة، إذ أنه نتيجة لوجود طاقة الترابط تقل كتلة النواة عن مجموع كتل النيوكليونات المكونة لها، هذا الفرق بين الكتلة الفعلية وبين مجموع كتل مكوناتها يشكل ما يسمى الترابط أو طاقة الربط.

نستعمل بعض الرموز للتعبير عن كتلة الإلكترون والنيوترون والبروتون حيث:

$$M({}_Z^AX) : \text{كتلة الذرة } {}_Z^AX \text{ عند السكون.}$$

$$m({}_Z^AX) : \text{كتلة النواة } {}_Z^AX \text{ عند السكون.}$$

$$m_n = m({}_0^1n) : \text{كتلة النيوترون } {}_0^1n \text{ عند السكون.}$$

$$m_p = m({}_1^1H) : \text{كتلة البروتون } {}_1^1H \text{ عند السكون.}$$

$$m_{e^-} = m({}_{-1}^0e) : \text{كتلة الإلكترون.}$$

### 1.3 العلاقة بين الكتلة الذرية والنوية للنكليد ${}_Z^AX$ :

تتشكل ذرة متعادلة  ${}_Z^AX$  من نواة  $Z$  إلكترون. طاقة الربط الذرية هي طاقة ربط الإلكترونات بالنواة لانتزاع كل هذه الإلكترونات يجب توفير طاقة تأين تساوي  $E_B(Z_e)$

العلاقة بين الكتلة الذرية والنوية في نفس العنصر  ${}_Z^AX$

$$({}_Z^AX + Z_e) \text{ (النواة)} \longrightarrow \text{(الذرة)} \quad {}_Z^AX + E_B(Z_e) \quad (1.3)$$

$$m({}_Z^AX) + Zm_e \longrightarrow M({}_Z^AX) + E_B(Z_e) / c^2 \quad (2.3)$$

عادة ما نهمل الحد  $E_B(Z_e) / c^2$  على أنه صغير جدًا مقارنة بالحدود الأخرى.

### 2.3 طاقة الارتباط النووي:

إن الطاقة الكاملة (طاقة الجهد) في أي جملة من الجسيمات المقيدة هي طاقة سالبة، نستدل من ذلك بأن الطاقة الكلية للجملة المقيدة هي أقل من الطاقة الكلية للجسيمات المنفصلة عن بعضها البعض وأن هذا الفرق في الطاقة يدعى بطاقة ترابط المنظومة وفي حالة المكونات النووية فإن طاقة الترابط النووية ( $E_B$ ) هي

كبيرة جدًا بحيث أن الفرق في الطاقة ينتج فرقًا واضحًا في الكتلة ( $\Delta M$ ) بين مجموع كتل النيوكليونات والكتلة الحقيقية للنواة، ولذلك من الممكن تعريف طاقة الربط النووي ( $E_B$ ) بأنها كمية الطاقة المتحررة عند تركيب النواة من خلال جمع العدد المطلوب من البروتونات ( $Z$ ) والنيوترونات ( $N$ ) أو أنها كمية الطاقة اللازمة لتفتت هذه النواة إلى مكوناتها الأساسية من بروتونات ونيوترونات.

إن الكتلة الكلية للنواة تكون أقل من مجموع نوكليناتها منفردة، ولأن الكتلة تعد مقياس للطاقة فإن الطاقة الكلية لنظام مترابط (النواة) تكون أقل من الطاقة المكونة للنكليونات وهي منفصلة ويسمى هذا الفرق في الطاقة طاقة الترابط للنواة ويمكن تفسيرها بأنها الطاقة التي يجب أن تضاف إلى النواة لغرض فصلها إلى مكوناتها لذلك لكي نفصل نواة إلى بروتونات ونيوترونات يجب تقديم الطاقة إلى النواة.

لقد بين مبدأ انحفاظ الطاقة وعلاقة اينشتاين لتكافؤ الكتلة-الطاقة أن طاقة الترابط ( $E_B$ ) لأية نواة كتلتها  $M(\frac{A}{Z}X)$  هي:

$$Zp + (A - Z)n \longrightarrow \frac{A}{Z}X + E_B(\frac{A}{Z}X) \quad (3.3)$$

$$Zm_p + (A - Z)m_n = m(\frac{A}{Z}X) + E_B(\frac{A}{Z}X)/C^2 \quad (4.3)$$

بما أن كتلة الأنوية غير محددة بدقة مثل الكتلة الذرية فإننا نحسب  $E_B(\frac{A}{Z}X)$  بدلالة الكتل الذرية  $M(\frac{A}{Z}X)$  لدينا :

$$Zp + (A - Z)n \longrightarrow \frac{A}{Z}X(\text{النواة}) + E_B(\frac{A}{Z}X) \quad (5.3)$$

$$\frac{A}{Z}X(\text{النواة}) + Zm_e \longrightarrow \frac{A}{Z}X(\text{الذرة}) + E_B(\frac{A}{Z}X) \quad (6.3)$$

$$\frac{E_B(\frac{A}{Z}X)}{C^2} = m(\frac{A}{Z}X) - Zm_p - (A - Z)m_n \quad (7.3)$$

$$\frac{E_B(\frac{A}{Z}X)}{C^2} = Zm({}_1^1\text{H}) + (A - Z)m({}_0^1\text{n}) - M(\frac{A}{Z}X) \quad (8.3)$$

$$E_B(\frac{A}{Z}X) = \nabla m(\frac{A}{Z}X) \times C^2 \quad (9.3)$$

حيث  $m_p$  هي كتلة البرتون  $m_n$  هي كتلة النيوترون ونستعمل الكتل الذرية، وغالبًا ما يكون ملائمة من الناحية العملية استعمال كتلة الذرات المتعادلة (الكتلة النووية زائد كتلة الإلكترونات) في حساب طاقة الترابط لأن المطياف الكتلي يقيس عمومًا الكتل الذرية.

فمثال على ذلك لدينا ذرة الهليوم حيث تتكون من بروتونين ونيوترونين:



الشكل (1.3): مكونات ذرة الهليوم.

تبلغ كتلة نواة الهليوم  $4.0015U_{\text{ma}}$ .

تبلغ كتلة البروتون  $1.0073U_{\text{ma}}$ .

تبلغ كتلة النيوترون  $1.0087U_{\text{ma}}$ .

وبما أن نواة الهليوم تتألف من بروتونين ونيوترونين لذا يمكن حساب كتلة نواة الهليوم على النحو التالي:

$$\text{كتلة بروتونين} = 2 \times 1.0073 \quad \text{كتلة نيوترونين} = 2 \times 1.0087$$

$$\text{كتلة بروتونين} = 2.0146 \quad \text{كتلة نيوترونين} = 2.0174$$

مجموع كتل البروتونات والنيوترونات تساوي  $2.0146 + 2.0174 = 4.0320$

وبمقارنة كتلة الهليوم الفعلية بمجموع كتل مكونات نواتها يلاحظ أن هنالك فرقاً في الكتلة:



الشكل (2.3): الفرق في الكتلة.

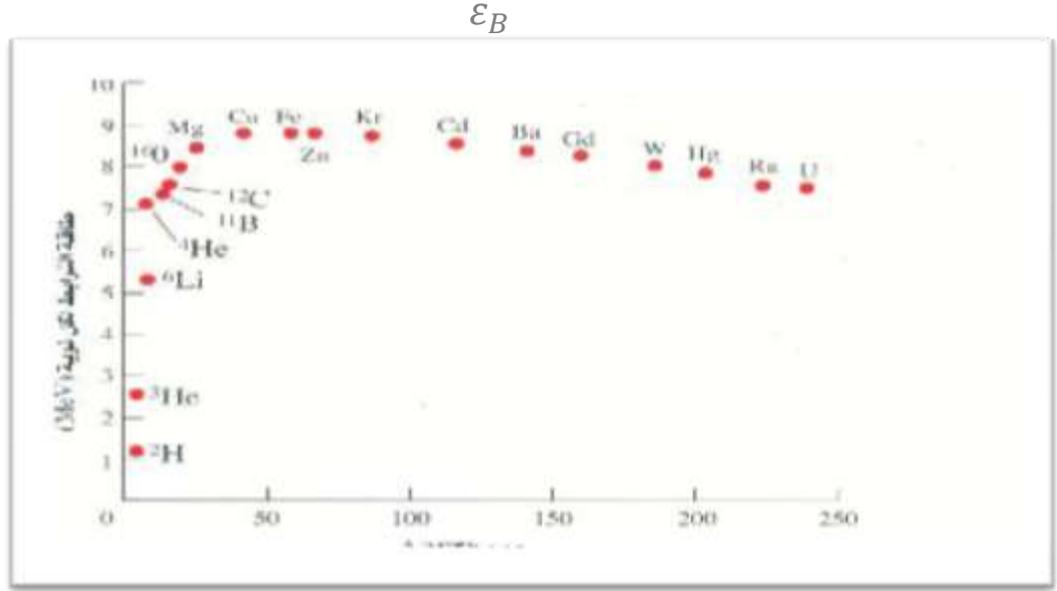
يبلغ الفرق في الكتلة بين نواة الهليوم الفعلية ومجموع مكوناتها  $0.0305$  وحدة كتلة ذرية، ويتحول هذا الفرق في الكتلة طبقاً لمعادلة أينشتاين  $E=mc^2$  إلى طاقة، تتحرر عندما تتكون نواة الهليوم وتدعى هذه الطاقة بطاقة الربط النووي.

### 3.3 طاقة الربط النوعية (الوسطية):

بقسمة طاقة الربط النووية على العدد الكتلي لنفس النواة نحصل على مقدار يدعى بطاقة الربط النوعية وهو يفسر بوضوح مدى استقرار النواة حيث أنه كلما كانت النواة كبيرة (العدد الكتلي A كبير) كلما كان ربط النكليونات أكثر.

$$\varepsilon_B = E_B/A \quad (10.3)$$

لننظر كيف يتغير المقدار  $\varepsilon_B$  بتغير النكليونات في النواة، يبين الشكل (3.3) هذا التغير، وقد وضع A على محور الفواصل والمقدار  $\varepsilon_B$  على محور الترتيب:



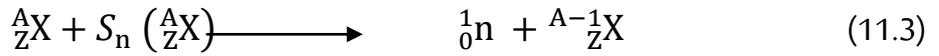
الشكل (3.3): طاقة الربط لكل نواة.

يسمح تحليل هذا المخطط البياني باستخلاص عدد من النتائج المهمة:

- طاقة الارتباط النوعية  $\varepsilon_B$  ليست نفسها في كافة النوى وبتالي فإن النكليونات غير مرتبطة في النوى بنفس الدرجة من المتانة وهي امن ارتباط في النوى التي يتراوح عددها الكتلي بين 40 و 100 ( $\varepsilon_B$  العظمى) وتكون قيمة طاقة الارتباط الوسطية في هذه المجموعة من النوى ثابتة تقريبًا ومساوية 8.7MeV لكل جسيم نووي.
- في النوى ذات  $A > 100$  تتناقص  $\varepsilon_B$  بإزدياد العدد النكليونات في النواة وتساوي طاقة الارتباط الوسطية في اليورانيوم 7.5MeV.
- في النوى المحتوية على عدد قليل من النكليونات تتناقص  $\varepsilon_B$  بنقصان عدد الجسيمات في النواة و الشيء المميز على منحنى طاقة الارتباط الوسطية في هذه المجموعة من النوى وجود نهايات عظمى وصغرى حادة.

### 4.3 معادلات طاقة فصل النيكلون:

#### 1.4.3 طاقة فصل النيوترون $S_n$ :



$$S_n ({}^A_ZX) = [M({}^{A-1}_ZX) + m({}^1_0n) - M({}^A_ZX)C^2] \quad (12.3)$$

$$S_n ({}^A_ZX) = [E_B ({}^A_ZX) - E_B ({}^{A-1}_ZX)] \quad (13.3)$$

#### 2.4.3 طاقة فصل البروتون $S_p$ :



$$S_p ({}^A_ZX) = (M({}^{A-1}_{Z-1}X) + m({}^1_1H) - M({}^A_ZX)C^2) \quad (15.3)$$

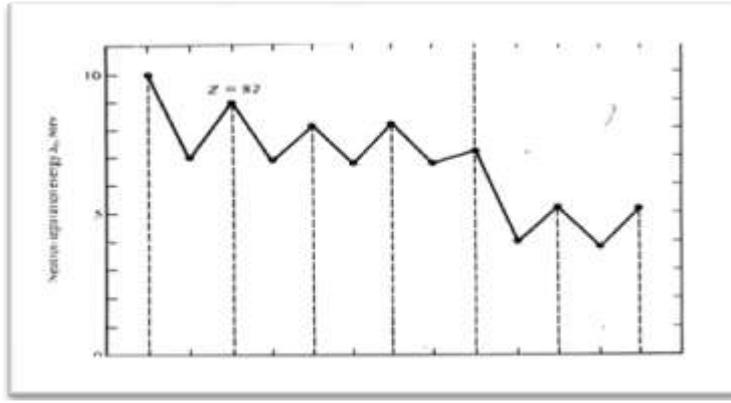
$$S_p ({}^A_ZX) = [E_B ({}^A_ZX) - E_B ({}^{A-1}_{Z-1}X)]. \quad (16.3)$$

### 5.3 نظاميات طاقة الفصل:

ان النظاميات المثالية لطاقت فصل النيوترون  $S_n$  واضحة في الشكل (4.3) حيث انه ولقيمة معينة للعدد الذري  $Z$  فان  $S_n$  تكون اكبر (في النوى التي تكون فيها  $N$  زوجية) مما هي عليه في النوى التي تكون فيها  $N$  فردية وكذلك فإنه ولقيمة معينة لعدد النيوترونات  $N$  فان  $S_p$  تكون اكبر في النوى التي تكون فيها  $Z$  زوجية مما هي عليه في النوى ذات  $Z$  فردية، ان هذا ناتج عن احدى خواص القوى النووية التي ينتج عنها ارتباط إضافي بين كل زوج من النكليونات المتشابهة الموجودة في الحالة نفسها والتي يكون لها دفع زاوي كلي يعمل في اتجاهين متعاكسين وهذا أيضًا هو السبب في الاستقرار العالي لتكوين جسيمات ألفا.

$$S_n (A, Z, \text{even } N) - S_n (A - 1, Z, N - 1) \quad (17.3)$$

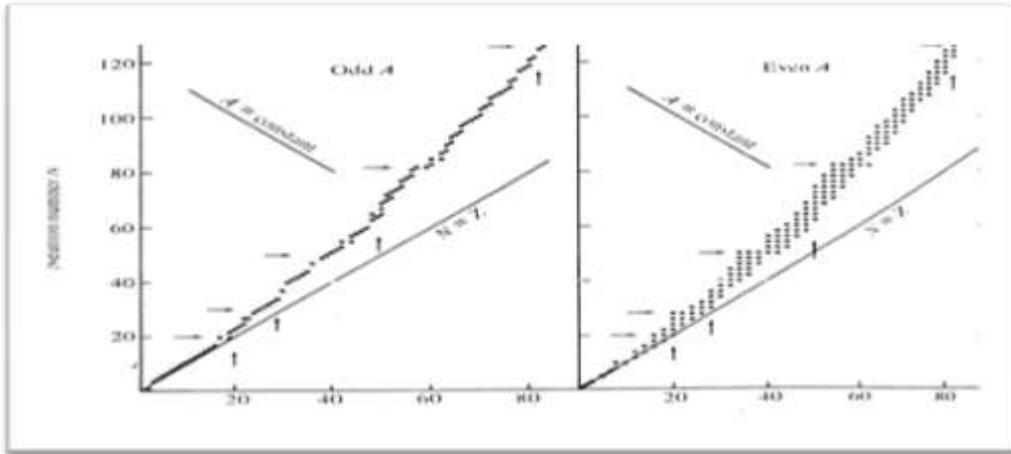
تسعي طاقة ازدواج النيوترون والتي تتغير تقريبا وتتراوح ما بين 2 إلى 4 ميغا إلكترون فولط مع زيادة في قيمة  $A$  وتظهر قيم مشابهة لذلك بالنسبة للبروتونات ان الازدواج يؤدي إلى أن تكون النوى الزوجية-الزوجية ( $Z$  زوجية و  $N$  زوجية) أكثر استقرارًا من النوى الزوجية-الفردية والنوى الفردية-الزوجية وهذا بدورها أكثر ارتباط من النوى الفردية - الفردية وهذا يتضح أيضا من ملاحظة نظاميات الوفرة الطبيعية للنوى المستقرة.



الشكل (4.3): طاقات فصل النيوترون في نظائر الرصاص بدلالة النيوترونات الموجودة في النواة.

### 6.3 نظميات الوفرة الطبيعية للنوى المستقرة:

ان النوى الموجودة في الكرة الأرضية هي إما مستقرة أو ذات نشاط إشعاعي بأعمار نصفية تزيد على  $10^9$  سنة تقريبا وذلك لأنها قد تكونت قبل  $5 \cdot 10^9$  سنة مضت على الأقل حسب النظريات السائدة الآن، ان الشكل (5.3) يوضح العلاقة بين  $Z$  و  $N$  لجميع النوى المعروفة مقسمة إلى ايزوبارات فردية وزوجية، ان معدل خط الاستقرار يرتكز حول  $N=Z$  بالنسبة للنوى الخفيفة أما بالنسبة للنوى الأثقل فإن الاستقرار يشذ عن ذلك بسبب زيادة أهمية قوة كولوم، وعندما تكون  $A$  فردية فانه يوجد فقط ايزوبار واحد (معدا  $A=113, 123$ ) وعندما تكون  $A$  زوجية فإنه توجد فقط نوى زوجية زوجية (معدا  $A=2, 6, 10, 14$ )، ان الجدول (1.3) يوضح ملخص تكرر وفرة النوى في الطبيعة.



الشكل (5.3): العلاقة بين البروتونات وعدد النيوترونات في النوى المستقرة.

الايزوبارات الفردية مبينة في يسار الشكل والزوجية في يمينه، و الأسهم تؤشر في اتجاه الأقرب من الأعداد السحرية عند قيم  $Z = 20$  و  $28$  و  $50$  و  $82$  و  $126$  والايزوبارات الفردية عند قيم  $A = 2$  و  $6$  و  $10$  و

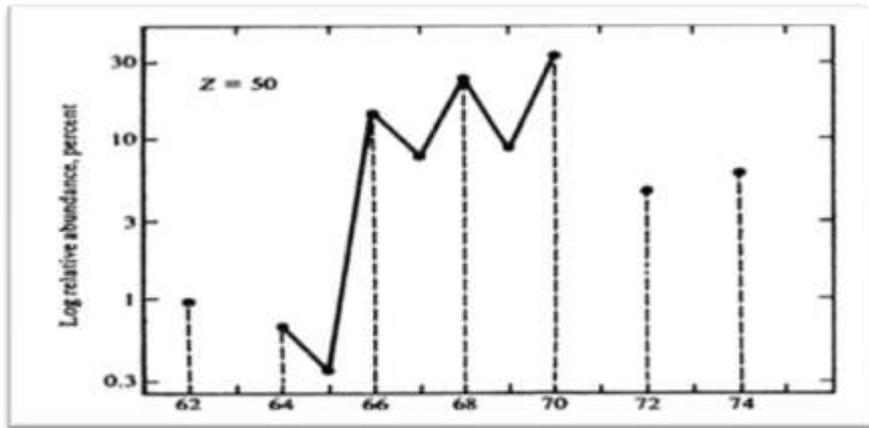
ان النوى الزوجية- الزوجية تظهر بوفرة أكبر ولو اعتبرنا أن النوى المستقرة تتولد بطريقة بحيث تؤدي الزيادة في طاقة الارتباط إلى زيادة في نسبة الوفرة الطبيعية فإننا نستنتج أن النوى الزوجية- الزوجية أكثر استقرار أي أننا يمكن أن نكافئ الوفرة الطبيعية بالاستقرار وهذا يتفق مع الاستنتاجات التي تم التوصل إليها من دراسة نظاميات طاقات الفصل إن عملية تكوين العناصر في الطبيعة كانت عملية معتقدة على الأغلب إلا أن إحدى عمليات التوليد المحتملة وهي نظرية انفجار البورن نوما تعتمد على الدور الرئيسي الذي تلعبه طاقة الارتباط في التحكم في الوفرة الطبيعية، ان الاعتماد السائد حاليا هو أن أكثر النوى وان كانت ليست الأكثر تواجدا قد تولدت بالتأكيد بطريقة كهذه.

وفرة تواجد النوى المستقرة تعطى في الجدول التالي.

N	even	odd	even	odd
Z	even	even	odd	odd
Number of nuclides	160	53	49	4

ان الوفرة النسبية للنظائر والتواجد الكوني للنوى يحتوي على تكرارات ملفتة للنظر كما هو مبين في الشكل (6.3) والذي يوضح الوفرة الطبيعية النسبية لعنصر الزنك ( $Z=50$ ) ان الوفرة الطبيعية الواطنة للنظير الذي تكون فيه N فردية واضح جدا وهذا أيضا مرتبط بحقيقة أن عملية توليد النوى تفصل النوى التي لها طاقات ارتباط أعلى، كما أن دراسة تفصيلية للوفرة الكونية تؤدي إلى الاستنتاجات نفسها.

ان الاستقرار المميز بالارتفاع تصاحب النوى التي تكون فيها N أو Z مساوية للإعداد 2 و 8 و 20 و 28 و 50 و 82 و 126 ويمكن ملاحظة بعض تأثيرات هذه الأعداد السحرية من خلال ملاحظة الشكل (6.3)، ان الأعداد السحرية تعكس تأثيرات في النوى مشابهة لتلك التي تصاحب امتلاء القشرة الالكترونية في الذرات وهناك أسباب جيدة لعدم توافق هذه الأعداد مع دورات الجدول الدوري 2 و 8 و 18 و 32.



الشكل (6.3): الوفرة الطبيعية النسبية للنظائر بدلالة عدد النيوترونات النظائر التي تكون فيها  $N = 63, 71, 73$  و ليست مستقرة.

### 7.3 التمارين المقترحة:

التمرين الاول: ماهو الفرق بين طاقة الارتباط النووية ل  ${}^3_2\text{He}$  وطاقة الارتباط النووية ل  ${}^3_1\text{H}$  ماذا تستخلص من هذه النتيجة.

$$M({}^3_1\text{H})=3.0160492675\text{u}$$

$$M({}^3_2\text{He})=3.0160293097\text{u}$$

التمرين الثاني: - ماهي طاقة الارتباط النووية للنواة  ${}^{12}_6\text{C}$

- ماهي طاقة الارتباط (الفصل) للبروتون

- ماهي طاقة الارتباط (الفصل) للنيوترون

$$M({}^{12}_6\text{C})= 12.000000\text{u} \quad ; \quad M({}^{11}_5\text{B})=11.009305\text{u} \quad ; \quad M({}^{11}_6\text{C})=11.011433\text{u}$$

التمرين الثالث: احسب طاقة الارتباط المتوسطة للنكليون الواحد في كل من النكليدات التالية ثم قارن

$${}^{12}_6\text{C} \quad M({}^{12}_6\text{C})= 12.000000\text{u}$$

$${}^4_2\text{He} \quad M({}^4_2\text{He})= 4.0026030\text{u}$$

$${}^{40}_{20}\text{Ca} \quad M({}^{40}_{20}\text{Ca})= 39.962589\text{u}$$

$${}^{202}_{80}\text{Hg} \quad M({}^{202}_{80}\text{Hg})= 201.970642\text{u}$$

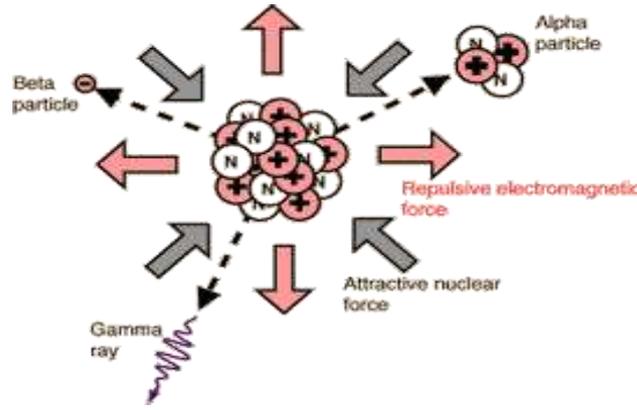
التمرين الرابع: قيست بدقة طاقة الارتباط للنكليون الواحد (الطاقة المتوسطة) من اجل الانوية التالية

$${}^{16}_8\text{O} \quad (7.51\text{Mev}) \quad ; \quad {}^{14}_7\text{N} \quad (7.22\text{Mev}) \quad ; \quad {}^4_2\text{He} \quad (6.82\text{Mev})$$

احسب كتلة كل من هذه النكليدات بوحدة الكتل الذرية u.

$$\text{نعطي: } m(e^-)=5.28579 \cdot 10^{-4}\text{u} \quad ; \quad m({}^1_0n)=1.008665\text{u} \quad ; \quad m({}^1_1\text{H})=1.007276\text{u} \quad ; \quad M({}^1_1\text{H})=1.007825\text{u}$$

يعرف التهافت (النشاط) الإشعاعي لعنصر ما بأنه عدد الأنوية التي تتفكك أو تتحلل في الثانية الواحدة لينتج من هذا التحلل انبعاث جسيمات موجبة أو سالبة أو إشعاعات كهرومغناطيسية. وتعرف النظائر التي يحدث فيها هذا النوع من التفكك أو الاضمحلال بالنظائر المشعة وتجدر الإشارة إلى أن عملية التفكك تحدث في النظائر سواء كانت في صورة نقية أم تدخل ضمن مركبات كيميائية أو بيولوجية أو غيرها. كما أن عملية التفكك لا تتأثر بالعوامل الفيزيائية والكيميائية مثل الحرارة و البرودة... الخ .



الشكل (1.4): نواة عنصر مشع تصدر إشعاعات نووية.

تصنف الجسيمات أو الإشعاعات التي تنطلق من النواة إلى ثلاثة أنواع:

1. أشعة (جسيمات  $\beta$ ) وهي عبارة عن جسيمات موجبة او سالبة.
2. أشعة (جسيمات  $\alpha$ ) وهي عبارة عن أنوية الهليوم الموجبة.
3. أشعة ( $\gamma$ ) وهي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية ذات طاقة أعلى (تردد أعلى) من أشعة X.

التحلل الإشعاعي و التفاعلات النووية موصوفة بواسطة الانتقال من نظام ابتدائي (النواة الأم) إلى نظام نهائي (النواة الوليدة) وهي تحدث بإحدى الطريقتين:

طريقة تلقائية: إذا كانت الطاقة الكلية للنواة البنت أقل من الطاقة الكلية للنواة الأم فإن الانتقال يمكن حدوثه تلقائياً.

طريقة صناعية: إذا كانت الطاقة الكلية للنواة الأم أقل من الطاقة الكلية للنواة البنت فإن الانتقال لا يحدث إلا إذا قدمنا طاقة للنواة الأم.

## 1.4 النشاط الإشعاعي

### 1.1.4 قانون الانحلال الإشعاعي:

إن أي عينة ماكروسكوبية من نظير مشع تتكون من عدد كبير من الأنوية المشعة. هذه الأنوية لا تشع جميعها في آن واحد بل تشع واحدة تلو الأخرى بفترات زمنية. إن عملية الإشعاع هي عملية عشوائية لا يمكننا التنبؤ متى ستحل نواة معينة، لكن يمكننا حساب عدد النوى التي ستحل في فترة زمنية معينة وذلك بالاعتماد على أساس احتمالي.

إن عدد الانحلالات  $\Delta N$  التي تحدث في فترة زمنية قصيرة  $\Delta t$  تعطى بالعلاقة التالية:

$$\Delta N = -\lambda N \Delta t \quad (1.4)$$

حيث:  $\lambda$  ثابت الانحلال الإشعاعي الخاص بالنظير.

كلما كان  $\lambda$  كبير كلما كان معدل الانحلال كبير. أما الإشارة السالبة فتدل على أن  $N$  في حالة نقصان ومنه:

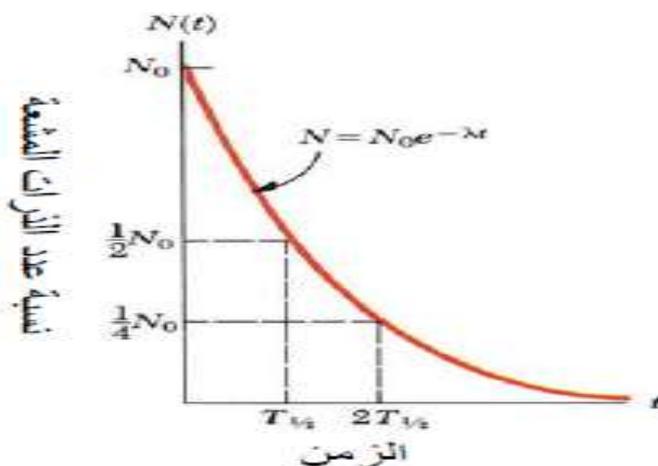
وبالتالي يمكن حساب  $N$  كما يلي:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt \Rightarrow \int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\int_0^t \lambda dt$$
$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.4)$$

حيث:  $N_0$ : عدد الأنوية الابتدائية عند  $t = 0$ .

$N$ : عدد الأنوية المتبقية عند الزمن  $t$ .

وتسمى العلاقة (1.4) قانون انحلال النشاط الإشعاعي. ونلاحظ أن عدد الأنوية المشعة لعينة معينة يتناقص أسياً مع الزمن كما هو موضح في الشكل (2.4).



شكل (2.4): تغير عدد ذرات مادة مشعة مع الزمن.

وبما أن كتلة المادة المشعة  $m(t)$  متناسبة مع عدد ذراتها  $N(t)$  يمكن كتابة القانون (1.4) كما يلي:

$$m(t) = m(0)e^{-\lambda t}$$

$$m = m_0 e^{-\lambda t} \quad (3.4)$$

#### 1.1.1.4 ثابت التفكك الإشعاعي $\lambda$ :

يعرف المعامل  $\lambda$  باسم ثابت التفكك الإشعاعي وهو عبارة عن احتمال تفكك نواة واحدة معينة في ثانية واحدة وحدة قياس هذا المعامل هي مقلوب الثانية أي  $(S^{-1})$  حيث أنها تعبر عن احتمال تفكك النواة في الثانية، كلما كانت  $\lambda$  كبيرة كلما كان معدل التفكك أكبر.

#### 2.1.1.4 زمن نصف العمر $t_{1/2}$ :

الزمن اللازم لتفكك نصف عدد النوى الابتدائي

$$N(t) = \frac{N_0}{2}$$

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}}$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (4.4)$$

عمر النصف لبعض العناصر:

العمر النصف لبعض العناصر

عمر النصف	الرمز	العنصر
7000000000 سنة	$^{235}\text{U}$	Uranium 235
5730 سنة	$^{14}\text{C}$	Carbon 14
1622 سنة	$^{226}\text{Ra}$	Radium 226
5 سنة	$^{60}\text{Co}$	Cobalt 60
8 أيام	$^{131}\text{I}$	Iodine 131
15 ساعة	$^{24}\text{S}$	Sodium 24
1000000/1 ثانية	$^{212}\text{Po}$	Polonium 212

#### 3.1.1.4 متوسط العمر $\tau$ :

إن متوسط العمر لعينة مشعة وهو متوسط الزمن الذي تستغرقه نواة العنصر المشع قبل أن تتفكك أو تضمحل كلياً، ويحدد كالتالي:

$$\tau = \left( \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} \lambda N(t) t dt \right) = \frac{1}{\lambda} = \frac{t_{1/2}}{0.693} \quad (5.4)$$

#### 2.1.4 معدل الانحلال (الشدة الإشعاعية) A(t):

إن معدل الانحلال هو عدد الانحلالات في وحدة الزمن، وانطلاقاً من العلاقة (1.4) نستطيع إيجاد علاقة عامة تحدد الشدة الإشعاعية حيث:

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

$$\left( \frac{dN}{dt} \right)_0 = -\lambda N_0 \quad \text{عند } t = 0$$

$$\frac{dN}{dt} = \left( \frac{dN}{dt} \right)_0 e^{-\lambda t}$$

$$A(t) = \frac{dN(t)}{dt}$$

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

وتعرف  $A_0 = \lambda N_0$  بالشدة الإشعاعية للعينة عند اللحظة  $t = 0$ ، لذا فإن:

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad (6.4)$$

#### 1.2.1.4 وحدات قياس الشدة الإشعاعية:

تعرف وحدة النشاط الإشعاعي البيكريل (Bq) بأنها تفكك نووي في الثانية (حسب نظام الوحدات الدولية).

$$1 \text{ (Bq)} = 1 \text{ تفكك / الثانية.}$$

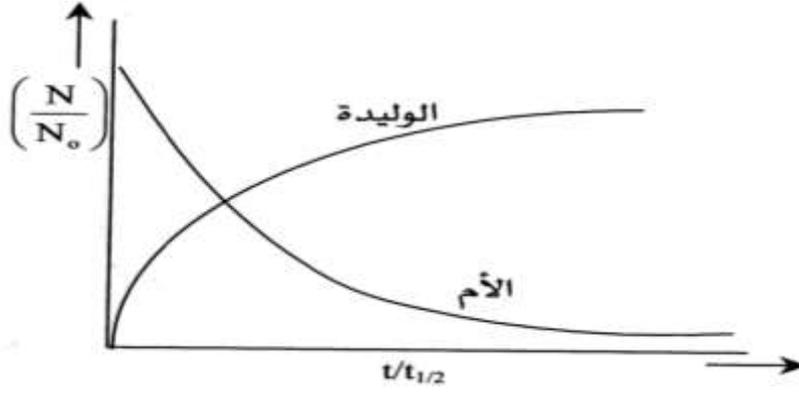
أما وحدة الكوري (Ci) فتعرف بأنها عدد التفككات النووية في الثانية الناتجة عن غرام واحد من الراديوم. وأجزاؤه وهي الملي كوري mCi والميكروكوري  $\mu\text{Ci}$ ، عند معايرة الشدة الإشعاعية لغرام من الراديوم وجدت أنها مساوية  $3.7 \times 10^{10}$  تفكك في الثانية.

وهناك وحدة ثالثة للنشاط الإشعاعي هي راذرفورد (Rd) Rutherford وهي عبارة عن تفكك في الثانية وهي نادرة الاستخدام.

#### 3.1.4 الأساس النظري لانحلال النشاط الإشعاعي:

لقد تم دراسة انحلال النشاط الإشعاعي لنواة الثوريوم الأم (كمادة نشطة إشعاعياً) و النواة الوليدة من قبل رذرفورد و سودي وقد وضعوا النتائج كما هي في الشكل (3.4) كمخطط توضيحي. إن منحني الانحلال الآسي للنواة الأم هو انحلال آسي في طبيعته، بعبارة أخرى من الممكن التعبير عن النشاط الإشعاعي للنواة كدالة للزمن بواسطة المعادلة الآتية:

$$A(t) = A(0)e^{-\lambda t}$$



الشكل (3.4): عمليات الانحلال للنواة الأم و الوليدة

إذ ان  $A(0)$  تمثل النشاط الإشعاعي الابتدائي للنواة الأم و  $A(t)$  هو النشاط الإشعاعي للنواة الأم بعد مرور فترة زمنية مقدارها  $(t)$ ، أما المنحنى المتعلق بالنواة الوليدة فقد وجد أنه يحقق المعادلة التالية:

$$A_d(t) = A(0)\{1 - e^{-\lambda t}\} \quad (7.4)$$

الرمز  $(d)$  يشير إلى النواة الوليدة، و  $(\lambda)$  له نفس القيمة في المعادلة  $\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}}$  والمعادلة  $dN = -\lambda N dt$  لذلك فإن منحنىات الانحلال و النمو للنواتين الأم و الوليدة تكون متناظرة.

لقد حصل رذرفورد Rutherford وسودي Soddy على نتائج تجريبية مشابهة في حالة نواة اليورانيوم الأم والنواة الوليدة لها ما عدا الاختلاف في الزمن. إذ وجد أن عمر النصف لنواة الثوريوم يساوي تقريبا 3.5 يوم في حين عمر النصف لنواة اليورانيوم هو 24 يوم.

#### 4.1.4 السلاسل الإشعاعية:

تتحلل بعض العناصر المشعة مباشرة وفي خطوة واحدة إلى عنصر غير مشع مثل البوتاسيوم المشع الذي يتحلل مباشرة إلى الرادون غير المشع، أو الكربون المشع الذي يتحول مباشرة إلى النتروجين غير المشع، أو الرايبيديوم المشع الذي يتحول مباشرة إلى السترونسيوم غير المشع، وفي هذه الحالة تسمى مثل هذه العناصر ثنائيا إشعاعيا، لكن العناصر الثقيلة لا تكفي لها خطوة واحدة لكي تتخلص النواة من الجسيمات النووية الزائدة فيها، الأمر الذي يستلزم عدة خطوات، تتخلص في كل خطوة منها إما من احدى جسيمات بيتا، وفي هذه الحالة تتحول إلى نواة احدى نظائر العنصر (والذي له نفس الوزن الذري)، أو تتخلص من جزيئات ألفا وفي هذه الحالة تتحول إلى نواة احدى نظائر العنصر السابق عليها بمركزين في الجدول الدوري وفي نفس الوقت ينقص بمقدار أربعة وحدات في الوزن الذري، ويستمر هذا التحول من عنصر مشع إلى عنصر مشع آخر حتى تصل النواة إلى عنصر نهائي غير مشع، أي عنصر مستقر، وتسمى مجموعة النظائر من النظير المشع الأول إلى النظير النهائي المستقر بسلسلة التحلل الإشعاعي.

وتوجد في الطبيعة ثلاثة سلاسل إشعاعية هي:

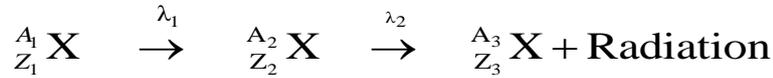
الأولى تبدأ باليورانيوم 238 وتنتهي بالرصاص 206 وتسمى سلسلة اليورانيوم.

. الثانية تبدأ باليورانيوم 235 وتنتهي بالرصااص 207 وتسمى سلسلة الأكتينيوم.  
 . الثالثة تبدأ بالثوريوم 232 وتنتهي بالرصااص 208 وتسمى سلسلة الثوريوم.  
 ومن المعروف أن الرصااص العادي وزنه الذري هو 204 ولذلك يطلق على الرصااص الناتج من سلاسل التحلل الإشعاعي ( الرصااص الإشعاعي) لتمييزه عن الرصااص العادي.

#### 5.1.4 التفكك المتسلسل:

إذا كانت النواة البنت عبارة عن نواة مشعة أيضاً وبالتالي يكون هناك تفكك لها إلى أن تصل إلى نواة مستقرة، وهذا هو مصطلح التفكك المتسلسل.

لنأخذ حالة خاصة و هي عندما تكون النواة الثالثة هي عبارة عن نواة مستقرة أي أن التفكك يحصل حسب المعادلة التالية:



هنا لدينا عنصراً مشعاً  ${}_{Z_1}^{A_1}X$  تفكك بثابت  $\lambda_1$  لينتج عنصراً آخر  ${}_{Z_2}^{A_2}X$  مشعاً و يتفكك أيضاً بثابت تفكك  $\lambda_2$  ليشكل عنصراً مستقراً  ${}_{Z_3}^{A_3}X$ .

ولنفرض أن عدد الأنوية  $N_1, N_2, N_3$  للأنوية  ${}_{Z_1}^{A_1}X, {}_{Z_2}^{A_2}X, {}_{Z_3}^{A_3}X$  على التوالي فإن النشاط الإشعاعي لهذه العمليات يمكن كتابته كالتالي:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dN_1}{dt} &= -\lambda_1 N_1 \\ \frac{dN_2}{dt} &= \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \\ \frac{dN_3}{dt} &= \lambda_2 N_2 \end{aligned} \right\} \quad (8.4)$$

مجموعة المعادلات تعطينا معدل تغيير عدد الأنوية و بحل هذه المعادلات نحصل على:

$$\left. \begin{aligned} N_1(t) &= N_0^{(1)} e^{-\lambda_1 t} \\ N_2(t) &= \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_0^{(1)} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_0^{(2)} e^{-\lambda_2 t} \\ N_3(t) &= N_0^{(3)} + N_0^{(2)} (1 - e^{-\lambda_2 t}) + N_0^{(1)} \left[ 1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right] \end{aligned} \right\} \quad (9.4)$$

#### 6.1.4 التاريخ بالنشاط الإشعاعي:

يمكن بواسطة الإشعاع تقدير عمر المواد العضوية النباتية أو الحيوانية ذات عمر يقارب 40000 سنة باستعمال الكربون 14. يتواجد عنصر الكربون 14 في كل المركبات العضوية. يتكون هذا العنصر أساساً من الكربون 14 المشع الذي يتميز بنصف عمر قدره 5730 سنة. يستند مبدأ التاريخ بواسطة الكربون 14 على النظرية القائلة بأن نسبة الكربون 14 على الكربون 12 في الكون وفي العالم الحي ثابتة عموماً. تم هذا بفضل التبادلات مثل التحليل الضوئي والتغذية التي تحدث باستمرار.

#### 1.6.1.4 التاريخ بالكربون المشع :

يحدد العلماء عمر جسم قديم بقياس محتوى الكربون المشع وتسمى هذه العملية التاريخ بالكربون المشع. وهي عملية تستخدم لتحديد عمر الشيء القديم عن طريق قياس محتواه من الكربون المشع، وقد طور هذا الأسلوب الكيميائي الأمريكي ويلارد لوبي Willard Libby في أواخر أربعينيات القرن العشرين. استخدم علماء الآثار والجيولوجيون طريقة لوبي ليعرفوا كثيراً عن حياة إنسان ما قبل التاريخ وحيواناته ونباتاته منذ 50000 سنة.

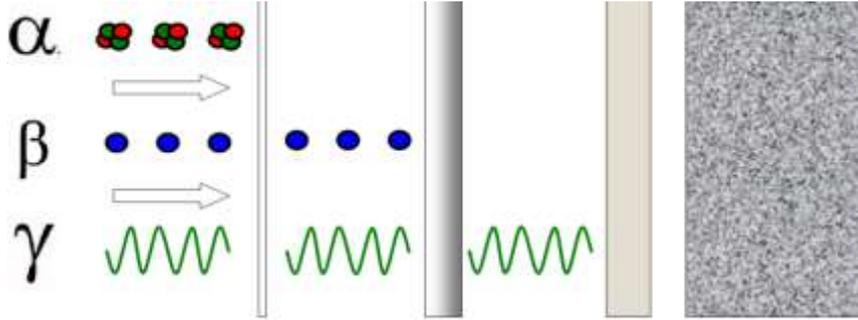
ذرات الكربون مثل جميع الكائنات المشعة تنحل (تتفكك بإطلاق جسيمات) بمعدل دقيق ومنتظم وتختفي نصف كمية الكربون المشع بعد نحو 5700 سنة، ومعنى هذا أن الكربون المشع له نصف عمر يعادل تلك الفترة ويبقى ربع الكمية الأصلية من الكربون المشع بعد 11400 سنة، وبعد 5700 عام أخرى يبقى الثمن، وهكذا يضمحل الكربون المشع في أنسجة الكائن باستمرار مادام الكائن يعيش. وبعد أن يموت الكائن، فإنه لا يتناول الغذاء أو الهواء وبالتالي لا يمتص الكربون المشع. ويستمر الكربون المشع الموجود فعلاً في الجسم في النقصان بمعدل ثابت. ويساعد هذا الانحلال الثابت، الذي يسير بمعدل معروف (نصف عمر 5700 عام)، العلماء على تحديد عمر الشيء.

وفي إحدى طرق تحديد العمر بالكربون المشع، يحرق العلماء قطعة من الجسم قيد الدراسة ويحولونها إلى غاز ثاني أكسيد الكربون. وينقى غاز ثاني أكسيد الكربون، وتقاس كمية الكربون المشع في ثاني أكسيد الكربون النقي بعدادات الإشعاع. وتكتشف هذه الأجهزة الإلكترونيات التي تطلقها ذرات الكربون المشع، وتتحول ثانية إلى ذرات نيتروجين. ويشير عدد الإلكترونيات المنبعثة إلى محتوى الكربون المشع.

#### 2.4 الاشعاعات النووية (ألفا، بيتا وغاما)

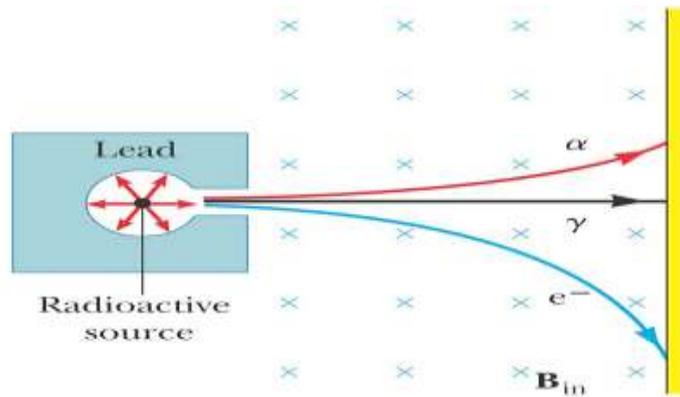
يوجد في الطبيعة ما يربو على 250 نواة مستقرة، لكن عدد النظائر المعروفة حتى الآن يزيد عن 1400 نظير، بمعنى أن معظم النظائر غير مستقر ولا يتواجد في الطبيعة لوقت طويل. وهناك أسباب كثيرة تدفع نواة ما لتتحلل أهمها أن تحاول الوصول لحالة مستقرة. فمثلاً يمكن لنواة أن تحوي أكثر مما تحتاج من البروتونات فيتحول إحداها إلى نيوترون داخل النواة، أو بالعكس تحوي نيوترونات كثيرة فيتحول إحداها لبروتون. أو قد تكون النواة تملك طاقة أكثر مما تحتاج إليه، أي أنها مثارة، فتطلق فوتونات عالية الطاقة

"لتستقر" وهكذا. تسمى كل هذه العمليات تحلل نووي ونقول إنها نشطة إشعاعيا. ويطلق اسم إشعاع نووي على كل شيء تصدره النواة سواء كان فوتونا أو بروتونا أو نيوترونا أو إلكترونات أو أي جسم آخر. ولقد بدأ رذرفورد وآخرون دراسة طبيعة هذه الأشعة سنة 1898 فوجدوا أنه بالإمكان تصنيفها إلى ثلاث أنواع تبعا لقدرتها على اختراق المواد، فأحدى هذه الأنواع تستطيع بالكاد اختراق قصاصة ورق، أما النوع الثاني فكان يستطيع المرور خلال سمك من مادة الألمنيوم قدره 3mm. أما النوع الثالث فكانت له قدرة اختراق عالية بحيث يمكن له المرور خلال عدة سنتمترات من مادة الرصاص. أطلق على هذه الأنواع الثلاثة أشعة ألفا، بيتا وغاما على التوالي.



الشكل (4.4): قابلية الأشعة النووية على اختراق المواد.

ويمكن التعرف على هذه الإشعاعات الثلاثة بوضع مادة مشعة في مجال مغناطيسي أو كهربائي فنلاحظ أن الشعاع الخارج من المادة المشعة ينقسم إلى ثلاث مجاميع اثنتان منهما تنحرفان في اتجاهين متعاكسين والثالثة لا تعاني انحرافا. وقد تبين أن الشعاع الذي لا يعاني انحرافا في المجال المغناطيسي هو الشعاع  $\gamma$ ، أما الشعاع الذي ينحرف إلى أعلى فيتكون من جسيمات  $\alpha$  وجسيمات  $\beta$  الموجبة (موجبة الشحنة). أما جسيمات  $\beta$  السالبة (سالبة الشحنة) فتتحرف عكس اتجاه الجسيمات الموجبة إلى الأسفل.



الشكل (5.4): الإشعاعات المنبعثة من مصدر مشع في مجال مغناطيسي.

## 1.2.4 تفكك ألفا ( $\alpha$ -Decay):

يحدث هذا النوع من التفكك لنوى العناصر الثقيلة (أثقل من الرصاص) لأن طاقة الترابط لكل نكليون في النواة منخفضة، لذلك فهي تعتبر نوى غير مستقرة وبالتالي فهي تميل إلى الاستقرار فتتفكك إلى نوى أخف وأكثر استقرارا وينبعث نتيجة هذا التفكك جسيم ألفا وهو عبارة عن نواة الهيليوم المكونة من بروتونين ونيوترونين، وهي عبارة عن جسيمات تحمل شحنة موجبة تبلغ شحنتها ضعف شحنة البروتون. لذا فإنه يمكن التحكم في مسارها باستخدام مجالات كهربائية أو مغناطيسية كما يمكن تعجيلها باستخدام المعجلات النووية إلى قيم عالية للطاقة. وتنتمي هذه الجسيمات إلى مجموعة الجسيمات النووية الثقيلة. يمثل هذا التفكك بالمعادلة التالية:



الشكل (6.4): تحلل النظير وتولد جسيمات ألفا.



## 1.1.2.4 شرط انحلال الجسيمة ألفا:

لكي تكون النواة (الأم) مشعة لجسيم ألفا يجب أن تحقق الشرط أن كتلتها أكبر من مجموع كتلة النواة الوليدة أو (الناجئة) وكتلة جسيم ألفا.

## 2.1.2.4 طاقة جسيمات ألفا:

طاقة جسيمات ألفا -بشكل عام- الصادرة عن نواة نظير معين لها قيمة واحدة مثلا نظير البولونيوم طاقة جسيمات ألفا الصادرة عنه هي : 5.3 Mev لكن هناك نظائر تكون قيمة طاقة جسيمات ألفا الصادرة عنها تتراوح بين قيمتين وذلك تبعا لحالة النواة الوليدة فإذا تكونت النواة الوليدة بالحالة الأرضية تأخذ ألفا القيمة الكبرى للطاقة وإذا تكونت في حالة مثارة تتخذ جسيمات ألفا القيمة الصغرى للطاقة، مثال نواة اليورانيوم لها قيمتين للطاقة 4.91 Mev و 4.41 Mev.

ولحساب الطاقة الناتجة عن التفكك نستخدم علاقة اينشتاين .

$$E_{\alpha} = [ M_p - ( M_d + M_{\alpha} ) ] C^2 \quad (11.4)$$

حيث:

$M_p$ : هي كتلة النواة الأم.

$M_d$ : هي كتلة النواة الوليدة.

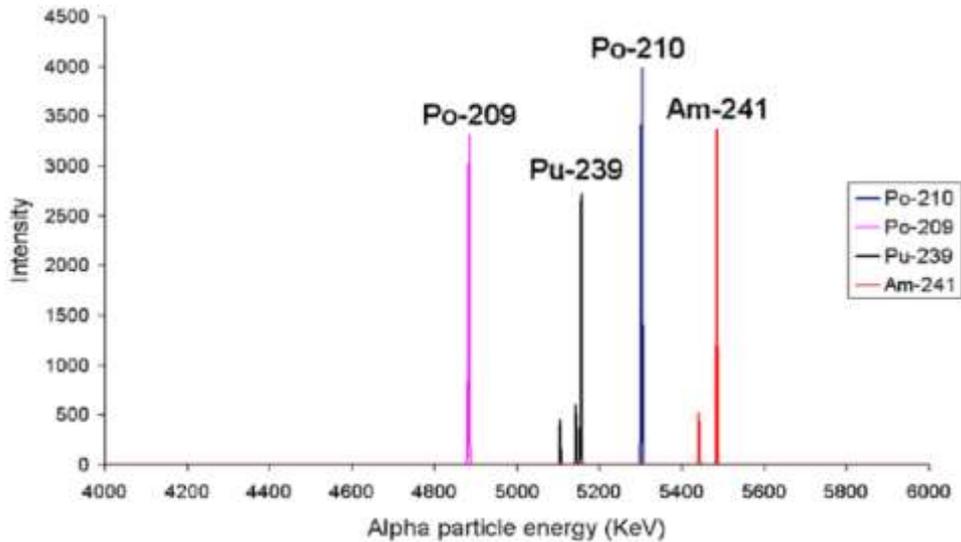
$M_{\alpha}$ : هي كتلة جسيمات ألفا.

$C$ : سرعة الضوء.

تتوزع الطاقة الناتجة من التفكك بين النواة الوليدة وجسيم ألفا بحيث يحمل جسيم ألفا الجزء الأكبر من الطاقة وتحمل النواة الوليدة جزء أصغر من الطاقة.

#### 3.1.2.4 طيف طاقة ألفا:

بما أن الناتج عن انحلال ألفا هو نواة واحدة و طاقة الجسيمة  $\alpha$  لها قيمة واحدة دائما. فعند تحليل جسيمات ألفا في مقياس ألفا الطيفي فنلاحظ مجموعة الطاقة الأساسية التي تتمتع بأكثر شدة و أخرى من الجسيمات ألفا طاقات أقل، و كل منها تنتمي لقيمة الطاقة الخاصة بها  $E$ ، و إن طيف ألفا الطاقى هو طيف خطي و ينتج نتيجة لتحول داخلي، ولجسيمات  $\alpha$  ذات الطاقة الأقل مما للمجموعة الأساسية مدى في المادة أقل و تسمى بجسيمات القصيرة المدى التي تنبعث حين تكون النواة الناتجة في الحالة المثارة.



الشكل (7.4): طيف الطاقة لجسيمات ألفا.

طيف جسيمات ألفا عبارة عن قيم محددة للطاقة.

## 2.2.4 تفكك بيتا ( $\beta$ -Decay):

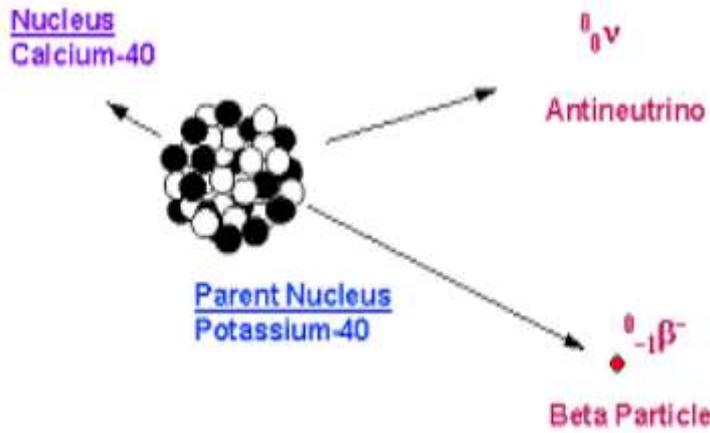
هناك إصدار آخر يعرف باسم جسيمات بيتا وهذه الجسيمات عبارة عن إلكترونات أو بوزيترونات وهي عبارة عن جسيمات كتلتها مساوية تماما لكتلة الإلكترون لكنها موجبة الشحنة ويحدث هذا النوع من التفكك في غالبية النظائر المشعة سواء أكانت ثقيلة أو خفيفة. ولكي تكون الأنوية أكثر استقرارا يجب أن تكون النسبة بين عدد النيوترونات والبروتونات ( $N/Z$ ) في نواة هذا النظير، تتراوح هذه النسبة بين 1 و 1.6 تناسبيا مع خفة أو ثقل هذه النوى. عند حدوث أي نوع من أنواع تفكك بيتا ينطلق من النواة جسيم يعرف باسم النيوتريينو ليس له كتلة و متعادل كهربائيا.

هناك ثلاثة أنواع من تفكك بيتا وهي:

- التفكك الإلكتروني (بيتا السالب).
- التفكك البوزيتروني (بيتا الموجب).
- الأسر الإلكتروني.

### 1.2.2.4 التفكك الإلكتروني (بيتا السالب):

يتحول فيه نيوترون إلى بروتون للحصول على نسبة الاستقرار ( $N/Z$ ) ويصاحب هذا التحول إصدار جسيم يدعى النيوتريينو المضاد  $\bar{\nu}$ .



الشكل (8.4): تحلل النظير وتولد جسيمات بيتا السالب.

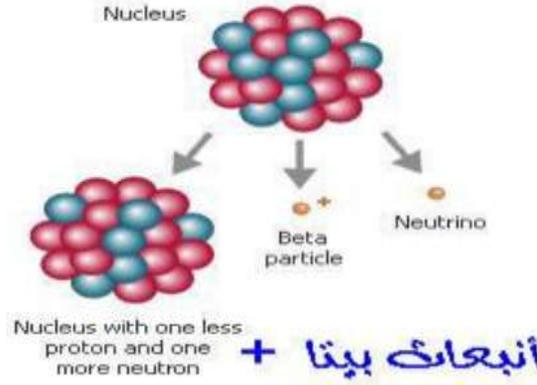
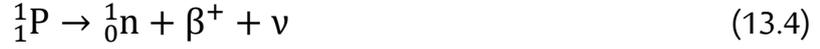
ويحدث التفكك الإلكتروني وفق المعادلة التالية:



#### 2.2.2.4 التفكك البوزيتروني (بيتا الموجب):

عكس التحول الأول فيتحول البوزيترون إلى نيترون ويصاحب هذا التحول إصدار جسيم يدعى النيوتريينو  $\nu$ .

ويحدث التفكك البوزيتروني وفق المعادلة التالية:



الشكل (9.4): تحلل النظير وانبعاث جسيمات بيتا الموجب.



#### 3.2.2.4 الأسرالإلكتروني:

تأسر النواة إلكترونات من إلكترونات المدارات القريبة منها (المدار K وأحيانا المدار L) ويتحد هذا الإلكترون مع أحد بروتونات النواة فيتكون نيترون دون إصدار جسيم بيتا.

ويحدث الأسرالإلكتروني وفق المعادلة التالية:



#### 4.2.2.4 شرط حدوث التفكك بيتا:

إن الشرط الأساسي لحدوث أي نوع من أنواع التفكك بيتا، هو أن تكون كتلة النواة الأم أكبر من مجموع كتل النواة الوليدة و جسيم بيتا، و يكون الفرق بين كتلة النواة الأم و مجموع الكتل هو عبارة عن الطاقة التي ينطلق بها كل من جسيم بيتا و النيوتريينو أو النيوتريينو المضاد.

#### 5.2.2.4 طاقة جسيمات بيتا:

إذا كانت طاقة الجسيمات ألفا لها قيمة واحدة أو قيم محددة فإن طاقة الجسيمات بيتا يمكن أن تتخذ أي قيمة اعتباراً من الصفر حتى تصل لقيمة قصوى معينة لكل نظير.

ذكرنا أن طاقة التفكك تتوزع بين جسيمات ألفا والطاقة الوليدة لكن في جسيمات بيتا تتوزع طاقة التفكك بين الجسمين الناتجين وهما:

(الإلكترون والنيوتريينو المضاد) في حال التفكك الإلكتروني وبين (البوزترون و النيوتريينو) في حال التفكك البوزيتروني .

وطاقة التفكك الإلكتروني تكون ثابتة، ويمكن تحديدها بالعلاقة:

$$E(\beta^-) = [M({}_Z^A X) - M({}_{Z+1}^A X)] c^2 \quad (15.4)$$

أما بالنسبة لطاقة التفكك البوزيتروني تكون كذلك ثابتة وتحدد بالعلاقة:

$$E(\beta^+) = [M({}_Z^A X) - M({}_{Z-1}^A X) - m_{e^-}] c^2 \quad (16.4)$$

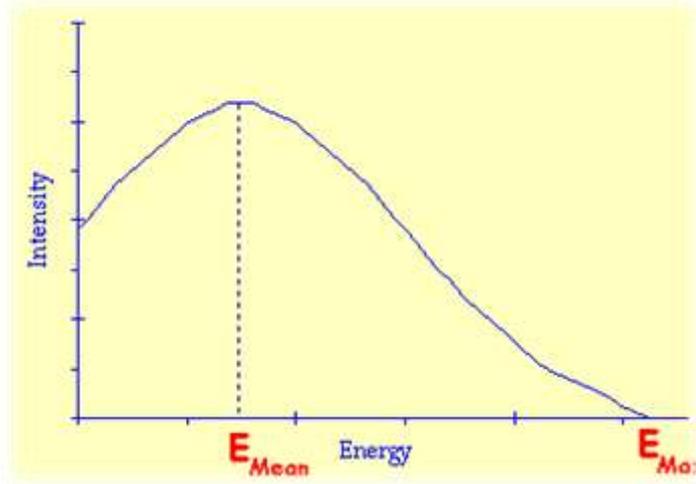
توزيع الطاقة بين الجسمين الناتجين في كلا الحالتين السابقتين. وفي حالة الأسر الإلكتروني تكون الطاقة الناتجة أيضاً ثابتة للنظير المعين وهي:

$$E_{Ec} = [M({}_Z^A X) - M({}_{Z-1}^A X)] c^2 \quad (17.4)$$

منحنى طيف أشعة بيتا يوضح أن طاقة جسيمات بيتا تتخذ أي قيمة ابتداء من الصفر وحتى أقصى قيمة، وطيف جسيمات بيتا عبارة عن طيف مستمر عكس طيف أشعة ألفا الذي يتخذ قيمة واحدة أو قيم محددة.

#### 6.2.2.4 طيف الطاقة لجسيمات بيتا:

يكون طيف جسيمات بيتا متصلاً وتأخذ القيم اعتباراً من الصفر وحتى القيمة القصوى للنظير. وهذا يفسر وجود الجسمين النيوتريينو والنيوتريينو المضاد للحفاظ على قانون حفظ الطاقة وكمية التحرك.



الشكل (10.4): طيف الطاقة لتفكك بيتا.

### 3.2.4 تفكك غاما ( $\gamma$ -Decay)

في أغلب الأحيان تكون الأنوية الوليدة الناتجة عن تفكك ألفا وتفكك بيتا في حالة مثارة. ويعني هذا أن طاقة النواة تكون أعلى من طاقتها في الحالة المستقرة (الأرضية). ولا تستطيع النواة أن تعيش في هذه الحالة المثارة طويلا ولكنها سرعان ما تنتقل إلى حالة أقل إثارة أو إلى الحالة الأرضية، وتتخلص من الطاقة الزائدة عن طريق إصدار إشعاعات كهرومغناطيسية تعرف باسم إشعاعات غاما. كذلك يمكن أن تنتج هذه الأشعة عن إثارة الأنوية المستقرة بطرق مختلفة كالتفاعلات النووية مثلاً ثم تعود هذه الأنوية المثارة من جديد إلى حالتها الأرضية بعد إصدارها للطاقة الزائدة في شكل إشعاعات غاما.

وإشعاعات غاما عبارة عن فوتونات (موجات كهرومغناطيسية) كالفوتونات الضوئية.

بصفة عامة تكون طاقة الفوتون غاما  $E_\gamma$  نتيجة انتقال النواة من الحالة المثارة الابتدائية  $i$  إلى حالة نهائية أقل إثارة  $f$  مساوية للفرق بين طاقتي الحالتين و تحدد بالعلاقة:

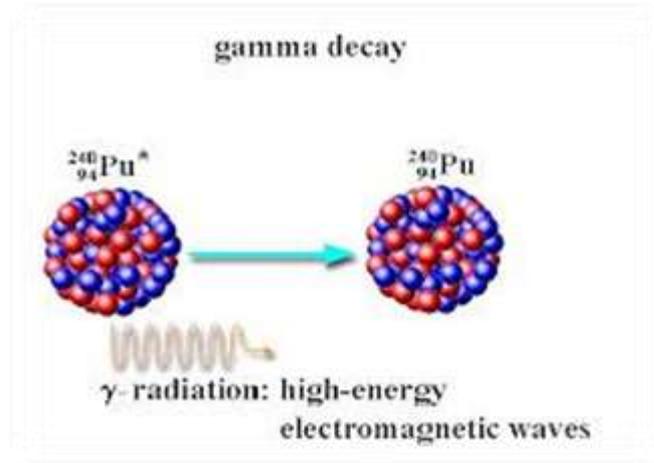
$$E_\gamma = E_i - E_f = h\nu \quad (18.4)$$

حيث:  $\nu$  هو تردد الفوتون غاما و  $h$  هو ثابت بلانك.

وتكون معادلة هذا التفكك من الشكل:



إشارة النجمة \* فوق العنصر  $Y$  تشير إلى وفرة الطاقة للعنصر المولد  $Y$  من جراء تفككات سابقة.



الشكل (11.4): إشعاع غاما.

#### 1.3.2.4 خصائص أشعة غاما:

كما ذكرنا سابقا، تنبعث أشعة غاما من النوى المشعة على شكل حزمات من الطاقة تدعى الفوتونات وعادة يصاحب إطلاق جسيمات بيتا في نفس المستوى وتكون لها طاقات في نفس المجال. ان أشعة غاما تبلغ عدة آلاف من الإلكترون فولت إلى بضعة ملايين، ولكنها مخالفة لجسيمات بيتا التي تبطئ عند فقدانها الطاقة وينتهي الأمر بارتباطهما بالذرة بينما تسير أشعة غاما بكافة طاقتها بسرعة الضوء أن أشعة غاما تفقد الطاقة خلال الالتقاء التصادفي الذي ينتج عن قذف الإلكترونات من النواة وهي قد تفقد جميع طاقتها أو جزء منها خلال الالتقاء وإذا ما تم فقد جزء من الطاقة فإن الباقي يستمر في السير خلال الفضاء بسرعة الضوء بصفة فوتونات ذات طاقة أقل وكلما زادت طاقة فوتونات غاما زادت طاقة الإلكترونات المتحركة والإلكترونات التي تم انتقال الطاقة لها من قبل فوتونات أشعة غاما تولد التلف في الوسط (بواسطة تأين وتهيج الذرات) ومتى ما تحرر الإلكترون بواسطة الفوتون فإن الحدث الذي يلي ذلك يعتمد فقط على خواص الإلكترون وليس على فوتون غاما الذي حرره.

وأشعة غاما لا تملك كتلة لأنها فوتونات، لذلك فإن انبعاثها لا يؤثر على العدد الكتلي أو العدد الذري.

#### 2.3.2.4 قواعد الانتقاء لتفكك غاما:

لا تنتقل الإلكترونات بين مستويات الطاقة في ذرة ما بشكل اعتباطي، لا في حالة امتصاص الطاقة ولا في حالة انبعاثها، بل ان ذلك يجري طبقا لقواعد معينة تسمى قواعد الانتقاء وهي ببساطة كما يلي:

$$\Delta J = \pm 1$$

للانتقالات المسموح بها علما بأن:

$$J=0 \rightarrow J=0$$

هو انتقال غير مسموح به.

وأن | يمثل الزخم الزاوي الكتلي للذرة.

الحقيقة التي يجب إدراكها هي أن الانتقالات الالكترونية في الذرة تشع فقط (أو تتعامل مع أشعة) مصدرها ثنائي قطب كهربائي. هذه الأشعة تنتج من تذبذب عزم ثنائي القطب الكهربائي أو وبمستوى أقل حدوثا هو تذبذب عزم ثنائي قطب مغناطيسي أو عزم رباعي قطب كهربائي، إن الأشعة التي مصدرها ثنائي القطب الكهربائي هي السائدة في الذرات، أما الأخرى فنادرة الحدوث جدا. وذلك لا يعني أن الذرة ستبقى في حالة تهيج إن كان الانتقال الذي سيعيدها إلى حالتها المستقرة غير مسموح به، فالذرات من الممكن أن تتصادم وبالتالي تستطيع الذرات المثيجة أن تفرغ حمولتها من الطاقة لذرات أخرى، إذن فعملية التصادم هي عملية مهمة تساعد في حدوث الانتقالات المحرمة من ناحية قواعد الانتقاء.

### 3.4 التمارين المقترحة

**التمرين الاول:** ما هو الزمن الذي يجب انقضاؤه لكي لا يتبقى من 5 ملي غرام من  $^{22}\text{Na}$  سوى 1 ملي غرام  
علما ان  $T_{1/2}=260 \text{ a ns}$

**التمرين الثاني:** يبلغ العمر النصفى لنكليد ما 20 يوم

- ما هو الزمن الذي يجب انقضاؤه لكي يتفكك ثلاثة ارباع العدد الموجود اصلا من النوى في عينة من هذا النكليد

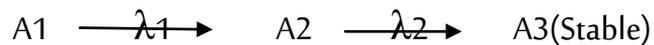
- ما هو الزمن الذي يجب انقضاؤه لكي يبقى ثمن العدد الموجود اصلا من النوى في عينة من هذا النكليد

**التمرين الثالث:** تحتوي عينة على نظيرين نشطين اشعاعيا. العمر النصفى لأحدهما هو يوم (1j) والعمر النصفى للآخر هو ثمانية ايام (8j). يساوي نشاط الابتدائي للنكليد الاسرع تفككا 128 مرة نشاط الابتدائي للنكليد الاخر.

متى (الزمن) يحصل تساوي نشاطيهما.

**التمرين الرابع:** اذا كان  $3.10^{-9} \text{ Kg}$  من الذهب  $^{200}_{79}\text{Au}$  نشاطه الاشعاعي الابتدائي يساوي  $58.9\text{Ci}$  فما هو العمر النصفى لهذا النكليد.

**التمرين الخامس:** يتولد النكليد A1 النشط اشعاعيا حسب السلسلة التالية

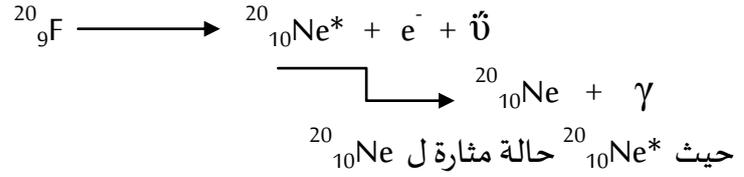


عين عدد النوى  $N_1, N_2, N_3$  في اللحظة  $t$  اذا علمت بأنه في اللحظة  $t=0$  يوجد  $N_0$ .

**التمرين السادس:** ما هي الطاقة الاعظمية للإلكترون الصادر خلال التفكك  $\beta$  للنواة  $^3_1\text{H}$

$$M(^3_1\text{H})= 3.0160492675\text{u} , \quad M(^3_2\text{He})= 3.0160293097\text{u}$$

التمرين السابع: النكليد  $^{20}_{9}\text{F}$  يتفكك الى الحالة الاساسية للنكليد  $^{20}_{10}\text{Ne}$  من خلال التفككات التالية



اذا كانت الطاقة الاعظمية للالكترونات الصادرة 5.4 ev وإذا كانت طاقة  $\gamma$  هي 1.6 Mev احسب الكتلة الذرية ل  $^{20}_{9}\text{F}$  علما ان  $M(^{20}_{10}\text{Ne}) = 19.99244\text{u}$

التمرين الثامن: احسب طاقة التفكك عندما تنحل النواة  $^{232}_{92}\text{U}$  الى  $M(^{232}_{92}\text{U}) = 232.03714\text{u}$  ،  $^{228}_{90}\text{Th}$  النواة  $M(^{228}_{90}\text{Th}) = 228.02873\text{u}$  ، وذلك ببعث جسيمات  $^4_2\text{He}$  ،  $M(^4_2\text{He}) = 4.002603\text{u}$  ،

التمرين التاسع: احسب الطاقة المتحررة عندما ينحل  $^{14}_6\text{C}$  الى  $^{14}_7\text{N}$  ويبعث جسيمات  $\beta^-$  ،  $^{14}_7\text{N}(14.003074\text{u})$  ،  $^{14}_6\text{C}(14.003242\text{u})$  ،

التمرين العاشر: تبعث نواة الكوبلت  $^{60}_{27}\text{Co}^*$  شعاع  $\gamma$  طاقته 1.33Mev . عندما يحدث انتقال الى مستوى الاستقرار . - احسب كتلة النواة المتهيجة .  
حيث  $M(^{60}_{27}\text{Co}) = 59.933820\text{u}$

توجد عدة نماذج نووية لدراسة النواة وإعطاء تفسير وتوضيح لشكلها وكيفية توزيع النكليونات بداخلها وسنتطرق في هذا الفصل الى عدة نماذج منها نموذج غاز فيرمي ونموذج القطرة السائلة الشبه تجريبي ونموذج الطبقات فكل نموذج يدرس النواة وفق شروط وقوانين خاصة.

### 1.5 نموذج غاز فيرمي

لقد كان weiss kopf هو أول من أشار إلى أن هناك شرح بسيط لتحرك النكليونات بشكل مستقل داخل النواة في حالتها المستقرة و الشرح يستند على نموذج غاز فيرمي الذي هو من أول التجارب التي أدخلت ميكانيك الكم طبقا لهذا النموذج. يتحرك كل نكليون بتأثير جهد نووي تجاذبي يمثل معدل تفاعله مع باقي نكليونات النواة. إن هذا الكمون له عمق ثابت داخل النواة طالما أن توزيع النكليونات ثابت في هذه المنطقة أما خارج النواة يصبح معدوما ضمن مسافة تساوي مدى القوة النووية أي أن هناك بئر وبداخله مستويات طاقة محدودة تحت هذا الشرط. حسب الميكانيك الكونتي فإن النكليونات تشغل حالات طاقة منفصلة كل حالات الطاقة مملوءة بأزواج. النكليونات ليست حالات حرة ولا يكون فيها الانتقال بين المستويات وطاقة حالة أعلى إنشغال هي طاقة فيرمي  $E_F$  وبما أن البروتونات لها شحنة، فهي خاضعة لبئر كموني يختلف عن النيوترونات.

#### 1.1.5 المفهوم الاساسي لغاز فيرمي:

يمكن تطبيق المفهوم النظري لغاز فيرمي على أنظمة التفاعل الضعيف بين الفرميونات وبمعنى آخر الجزيئات التي تخضع لإحصاء فيرمي-ديراك حسب مبدأ الاستبعاد لباولي. حسب مبدأ الإرتياب لهزنبيرغ فإن  $\Delta X \cdot \Delta P \geq \frac{1}{2} \hbar$  إن حجم جزيئية واحدة في الفضاء هو:  $V = 2\pi\hbar$  وعدد النكليونات في الحجم  $V$  هو:

$$n = \frac{\iint d^3r d^3p}{(2\pi\hbar)^3} = \frac{V 4\pi \int_0^{p_{max}} p^2 dp}{(2\pi\hbar)^3} \quad (1.5)$$

في درجة الحرارة  $T = 0$  بالنسبة للنواة في الحالة الأساسية المستويات الدنيا ستملا إلى دفع أقصى، يسمى دفع فيرمي  $P_F$

ينتج عن ذلك تغير حدود التكامل في المعادلة (1.5) من 0 إلى  $P_{max} = P_F$

$$n = \frac{V 4\pi \int_0^{p_{max}} p^2 dp}{(2\pi\hbar)^3} = \frac{V 4\pi P_F^3}{3(2\pi\hbar)^3} \Rightarrow n = \frac{V P_F^3}{6\pi^2 \hbar^3} \quad (2.5)$$

ولكون حالة الطاقة يمكن أن تحتوي على فرميونين من نفس النوع ، يمكن أن نأخذ:

حيث:  $P_F^n$  هو كمية حركة فيرمي للنيوترون

$P_F^P$  هو كمية حركة فيرمي للبروتون

### 2.1.5 كمية حركة فيرمي:

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi r_0^3 A \quad ; \quad R = r_0 \cdot A^{1/3} (fm) \quad \text{لدينا}$$

بالتعويض في المعادلة الأولى وباعتبار كثافة النكليونات في النواة = عدد النكليونات في حجم  $V$  نجد:

$$n = 2 \cdot \frac{V \cdot P_F^3}{6\pi^2 \hbar^3} = 2 \cdot \frac{4}{3}\pi r_0^3 \cdot A \cdot \frac{P_F^3}{6\pi^2 \hbar^3} = \frac{2}{9\pi} \frac{r_0^3 A P_F^3}{\hbar^3} \quad (3.5)$$

$$P_F = \left( \frac{6\pi^2 \hbar^3 n}{2V} \right)^{1/3} = \left( \frac{9\pi \hbar^3 n}{4\pi R_0^3} \right)^{1/3} = \left( \frac{9\pi n}{4\pi} \right)^{1/3} \frac{\hbar}{R_0} \quad (4.5)$$

بعد افتراض أن البروتون والنيوترون في بئر كمونيين لهما نفس نصف القطر نجد  $P_F$  بالنسبة للنوى

$$n = Z = N = A/2$$

$$P_F = P_F^n = P_F^P = \left( \frac{9\pi}{8} \right)^{1/3} \cdot \frac{\hbar}{R_0} \approx 250 \text{ Mev}/c^2$$

$$E_F = \frac{P_F^2}{2M} \approx 33 \text{ Mev} \quad \text{وطاقة فيرمي:}$$

حيث:  $M = 938 \text{ Mev}/c^2$  كتلة النواة.

### 3.1.5 كمون النكليون:

إن إختلاف  $B'$  بين قمة البئر ومستوى فيرمي ثابت وطاقة الربط المتوسط لكل نيكليون  $B/A = 7 - 8 \text{ Mev}$

إن عمق الكمون  $V_0$  وطاقة فيرمي مستقلة عن العدد الكتلي  $A$  حيث:  $V_0 = E_F + B' \approx 40 \text{ Mev}$

النوى الثقيلة لها فائض في النيوترونات. وليكون مستوى فيرمي للبروتونات و النيوترونات في النواة مستقرة يجب أن تكون متساوية - ماعدا ذلك- النواة تدخل في حالة نشاط أكثر خلال الانحلال، هذه تشير إلى أن عمق البئر الكموني يجب أن يكون فيه غاز النيوترونات أكبر من غاز البروتونات، لذا فطاقة ربط البروتونات أقل من طاقة ربط النيوترونات وهذا بسبب قوة تنافر كولوم للبروتونات المشحونة ويعبر عنها:

$$V_c = (Z - 1) \frac{\alpha \hbar c}{R} \quad (5.5)$$

### 4.1.5 الطاقة الحركية:

اعتماد طاقة الربط على فائض النيوترون قد يحسب بنموذج غاز فيرمي أولا نجد الطاقة الحركية المتوسطة لكل نكليون:

$$\langle E \rangle = \frac{\int_0^{P_F} E \frac{dn}{dE} dE}{\int_0^{P_F} \frac{dn}{dE} dE} = \frac{\int_0^{P_F} E \frac{dn}{dE} dP}{\int_0^{P_F} \frac{dn}{dE} dP} \quad (6.5)$$

$$\frac{dn}{dP} = \text{Const.} \cdot P^2 \quad \text{و} \quad \text{Const} = n = \frac{V \cdot P_F^3}{6\pi \hbar^3}$$

$$\Rightarrow \langle E_{Kin} \rangle = \frac{\int_0^{P_F} E_{Kin} P^2 dP}{\int_0^{P_F} P^2 dP} = \frac{3}{5} 2M \approx 20 \text{ Mev} \quad (7.5)$$

إذن الطاقة الحركية للنواة هي:

$$E_{Kin}(N, Z) = \frac{3\hbar^2}{10MR_0^2} \left(\frac{9\pi}{4}\right)^{2/3} \frac{N^{5/3} + Z^{5/3}}{A^{2/3}} \quad (8.5)$$

حيث أخذت أنصاف البئر الكموني للنيوترونات والبروتونات:

### 5.1.5 طاقة الربط:

الطاقة الحركية المتوسطة لها حد أدنى عند  $N=Z$  من أجل العدد الكتلي  $A$  ثابت ( لكن بتغيير  $N$  أو بشكل مكافئ  $Z$  ) تصبح هذه الطاقة أعلى.

إذن ننشر المعادلة (8.5) بواسطة متغير  $N-Z$  نحصل على:

$$E_{Kin}(N, Z) = \frac{3\hbar^2}{10MR_0^2} \left(\frac{9\pi}{4}\right)^{2/3} \left( A + \frac{5(N-Z)^2}{9A} + \dots \right) \quad (9.5)$$

حيث: الحد الاولي يقابل طاقة الحجم في صيغة وايزكور.

الحد الثانية طاقة اللاتناظر

تزيد طاقة اللاتناظر بفائض من النيوترونات أو البروتونات وبذلك تخفض طاقة الربط

ملاحظة: في هذا الاعتبار أهمل الكمون النووي المرتبط بتغيير  $N$  بالثابت  $Z$  هذا التصحيح الاضافي مهم في إظهار التغير في الطاقة الحركية

### 6.1.5 الأعداد السحرية:

هناك بعض النوى تبدي حيودا واضحا عن معدل التصرف وتكون مستقرة بشكل غير طبيعي فالنوى التي لها  $Z$  أو  $N$  مساويا للأعداد 2, 8, 28, 50, 82, 126 فمثلا هناك ستة نظائر مستقرة للعد الذري 20 بينما معدل عدد النظائر المستقرة في تلك المنطقة هو اثنان تقريبا أما عند العدد الذري 50 عشرة نظائر بينما عدد النظائر المستقرة هو أربعة . فضلا عن ذلك يلاحظ أن طاقة الربط النووية للنوى التي فيها عدد النيوترونات أو البروتونات 2, 8, 28 أكبر بكثير مما في النواة المجاورة فمثلا نواة الهليوم  ${}^4_2\text{He}$  تحتاج إلى طاقة عالية لإزالة النيوترون الأخير ( $20.6\text{Mev}$ ) وكذلك لإزالة البروتون الأخير ( $19.8\text{Mev}$ ) وهما قيمتان كبيرتان قياسيا بمعدل الطاقة الرابطة المتوسطة الواحدة  $B/A$  في هذه النواة البالغة ( $7.074\text{Mev}$ )

إن التشابه بين الأعداد السحرية النووية والذرية حث الكثيرين للبحث عن شرح الظواهر النووية بطريقة مشابهة لشرح الظواهر الذرية، ومع ذلك فعندما نوقشت الأعداد السحرية لأول مرة سنة 1948 كان من السهل فهم كيفية تحرك النويات بشكل مستقل داخل النواة تجدر الإشارة إلى أن هناك توقعات لوجود عناصر مستقرة ذات عدد كتلي كبير. و العمل جار على اكتشاف هذه العناصر {بالحقيقة صنعها} وهناك الآن تنافس دولي على ذلك تم بين عامي 1972-1974 تحضير العناصر الأتية :

البيليوم { $Z=102$ }, اللورانسيوم { $Z=103$ }, الدوبنيوم { $Z=105$ }, الرذرفورديوم { $Z=104$ }, السيبورجسيوم { $Z=106$ }

## 2.5 نموذج القطرة السائلة:

إن القوة النووية ليست مفهومة كما هو الحال بالنسبة لقوة كولوم إن دور القوة النووية هو ربط النواة وهناك عدة نماذج نووية للنواة تساهم وتساعد وتصف هذه القوى النووية ومن بينها نموذج القطرة السائلة، إن أول من استخدم هذه الطريقة هو **Von Weizsäcker** عام 1935

لدينا في نموذج القطرة السائلة :

- كثافة الكتلة مستقلة عن الحجم.
- طاقة التبخير تتناسب مع الكتلة.
- طاقة ربط جزيء موجود على السطح أقل من طاقة ربط جزيء موجودة في الداخل.
- تتوزع الشحنة بانتظام.

إن هذا النموذج يقرب النواة لتصبح ككرة ذات كثافة داخلية منتظمة تصبح صفرا عند السطح، ويعتمد على المقارنة بين النواة وقطرة سائلة بحيث يشبه قوة التماسك بين جزيئات السائل بقوة التجاذب النووية قصيرة المدى بين نكليونات النواة ويشبه تأثير قوة الشد السطحي على سطح السائل بحاجز مشابه موجود على سطح النواة والجسيمات الموجودة في عمق النواة تخضع لقوة تجاذب متساوية من جميع الجسيمات المجاورة لها من كل الجهات، وبما أن البروتونات مشحونة فإن قوة التنافر بينها تزداد بازدياد عددها، وبما أن كثافة المادة في الحالة السائلة (حرارة وضغط معينين) ثابتة تقريبا وهو نفس الشيء بالنسبة للنواة كل هذا مكننا من كتابة العلاقة الرياضية التي تعبر عن كتلة النواة وتسمى أيضا بالعلاقة النصف تجريبية :

$$E_B \left( \begin{smallmatrix} A \\ Z \end{smallmatrix} X \right) = a_v A - a_s A^{2/3} + a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}} - a_a \frac{(N-Z)^2}{A} + a_p A^{-1/2} \begin{pmatrix} +1 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix}$$

قيم معاملات العلاقة الشبه التجريبية

قيمة المعاملات	المرجع 1	المرجع 2
$a_v$	15.75 Mev	14.0 Mev
$a_s$	17.80 Mev	13.0 Mev
$a_c$	0.711 Mev	0.58 Mev
$a_a$	23.60 Mev	19.3 Mev
$a_p$	11.20 Mev	33.5 Mev

نعرف معاملات العلاقة الشبه التجريبية كالتالي:

### 1.2.5 حد الحجم $a_v$ :

القوة النووية محدودة التأثير وبالتالي فإن كل نيكليون يؤثر فقط على النيكليونات المجاورة وكلما زاد عدد النيكليونات زادت طاقة الربط

$$E_B \propto A \Rightarrow E_B = cte = A$$

$$\Rightarrow E_B = a_v A$$

### 2.2.5 حد السطح $a_s$ :

النيكليونات المتواجدة على سطح النواة تكون أقل طاقة من نظيراتها الموجودة داخل النواة لأنها تتعرض لقوة جذب نووي من جهة واحدة فقط ينتج عن ذلك نقصان لطاقة الربط والذي يتناسب مع النيكليونات الموجودة في السطح حيث أن:

$$\begin{cases} S = 4\pi r^2 \\ r = r_0 A^{1/3} \end{cases} \Rightarrow S = 4\pi r_0^2 A^{2/3} = a_s A^{2/3}$$

$$E_B = a_s A^{2/3}$$

إذن نضيف حد السطح للعلاقة السابقة.

### 3.2.5 حد كولوم $a_c$ :

تعمل قوة التنافر بين البروتونات على التقليل من قوة الربط داخل النواة ويكون ذلك متناسب مع طاقة كولوم

$$E_B \propto k \frac{q_1 q_2}{r}$$

$$E_B \propto k \frac{Z^2 e^2}{r_0 A^{1/3}} \Rightarrow (E_B)_c = a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}}$$

### 4.2.5 حد التناظر $a_a$ :

أغلب الأنوية تميل وتفضل أن تكون لها  $(Z=N)$  لكن نلاحظ أنه فيما عدا الأنوية الخفيفة ليس هناك تناظر بين  $Z$  و  $N$  مما يتطلب إضافة التصحيح السالب يتناسب مع الزيادة في عدد النيوترونات  $(N-Z)$

$$E_B \propto \frac{(N-Z)^2}{A} = cte \frac{(N-Z)^2}{A}$$

$$E_B = a_a \frac{(N-Z)^2}{A}$$

### 5.2.5 حد الزوجية $a_p$ :

إن التجارب أثبتت أن النوى التي لها Z زوجي و N زوجي مستقرة أكثر من التي لها Z فردي و N فردي أو أحدهما وبالتالي فإننا نضيف حد يسمى حد الزوجية يكون مضروباً في (1) في حالة Z زوجي و N زوجي و مضروب في (0) في حالة Z فردي و N زوجي أو العكس و مضروب في (-1) في حالة Z فردي و N فردي.

$$E_B = a_p A^{-1/2} \begin{pmatrix} +1 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix}$$

### 6.2.5 طاقة فصل بروتون:

$$S_p = E_B \left( {}^A_Z X \right) - E_B \left( {}^{A-1}_{Z-1} X \right) \quad ; \quad (A-1)^n \approx A^n$$

$$S_p = a_v - \frac{2a_c Z}{A^{1/3}} + a_c \frac{1}{A^{1/3}} + 2a_c \left( \frac{N-Z}{A} \right) + \frac{a_a}{A}$$

### 6.2.5 طاقة فصل نيوترون:

$$S_n = E_B \left( {}^A_Z X \right) - E_B \left( {}^{A-1}_Z X \right)$$

$$S_n = a_v - 2a_c \left( \frac{N-Z}{A} \right) + \frac{a_a}{A}$$

### 7.2.5 الأنوية الأكثر استقراراً في الإيزوبارات:

الإيزوبارات هي مجموعة النظائر التي لها نفس A مثل  ${}^{17}_8O$  ;  ${}^{17}_9F$ .

$$E_B = a_v A - a_s A^{2/3} - a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}} - \frac{(A-2Z)^2}{A} + \delta$$

$$\begin{cases} \gamma = a_v A - a_s A^{2/3} + a_a + \delta \\ \alpha = -\frac{a_c}{A^{1/3}} - 4 \frac{a_a}{A} \\ \beta = 4a_a \end{cases} \Rightarrow E_B = \alpha Z^2 + \beta Z + \gamma$$

$$\left. \frac{dE_B}{dZ} \right|_{A=cte} = 2\alpha Z + \beta$$

$$\left. \frac{dE_B}{dZ} \right|_{Z_0} = 0 \Rightarrow Z_0 = -\frac{\beta}{2\alpha} = \frac{2a_a}{\frac{a_c}{A^{1/3}} + 4 \frac{a_a}{A}}$$

$$Z_0 = \frac{A^{1/3}}{\frac{a_c}{2a_a} + \frac{2}{A^{2/3}}}$$

مثال: لدينا النواتين  ${}^{17}_8O$  ;  ${}^{17}_9F$  أيهما أكثر استقراراً.

الحل: نحسب  $Z_0$

$$Z_0 = \frac{(17)^{\frac{1}{3}}}{\frac{(0.711)}{2(23.60)} + \frac{2}{(17)^{\frac{2}{3}}}} = 8.096 \approx 8$$

إذن النواة الأكثر استقرار هي  $^{17}_8O$

### 3.5 نموذج الطبقات:

يعتبر نموذج الطبقات من أهم النماذج التي ساعدت على فهم التركيب النووي، والأفكار التي بني عليها هذا النموذج أخذت من النتائج العلمية و الربط بينهما.

إن نموذج الطبقات للنواة هو محاولة لتفسير سبب وجود الأعداد السحرية سابقة الذكر، إضافة إلى بعض خواص النواة الأخرى إن فكرة الأغلفة النووية وصفت أولاً من قبل w.Elsasser سنة 1934 ثم لخصت M.aria G.Mayerskm سنة 1984 حقائق تجريبية لإثبات أن النوى التي تحتوي على 2, 8, 20, 28, 50, 82 أو 126 نيوتروناً تكون تشكيلات مستقرة جداً في هذا النموذج فرض أن كل نكليون يتحرك في مداره داخل النواة مستقلاً عن بقية النكليونات ويتحدد المدار بدالة الكمون  $V(r)$  حيث  $r$  هي المسافة بين النكليون و مركز النواة، هذه الدالة تمثل التأثير المتوسط للتفاعلات مع باقي النكليونات ولهذا يطلق عليه غالباً اسم النموذج الجسيم المستقل.

ولتعيين وضع المستويات المختلفة للنواة، لابد من افتراض شكل معين لبئر كمون فإذا اعتبرنا البئر مستطيل الشكل واتساعه يساوي قطر النواة وعمقه  $V_0$  وبحل معادلة شرودنجر فإننا نحصل على المستويات أو الحالات الموضحة في الجدول.

في هذا الجدول تم ترتيب المستويات طبقاً لزيادة طاقة المستوي  $n$ ، وطبقاً لقاعدة إستبعاد باولي فإن كل مستوي يحتوي على  $N = 2(2l + 1)$  من كل نوع من النكليونات

إن تغير شكل بئر الكمون يحدث إزاحة للمستويات على امتداد محور الطاقة، وتحد بعض من هذه المستويات ليكون مستويات مغلقة ذات طاقات مختلفة تدعى الطبقات النووية ومن أجل تحقيق هذا النموذج يجب أن تنطبق مجموعة النكليونات  $\sum N$  الموجودة في هذه المستويات مع الأعداد السحرية.

ترتيب المستويات طبقاً لزيادة طاقة المستوي  $n$

States	1s	1p	2s	d	1f	2p	1g	2d	3s	1h	2f	3p
$l$	0	1	0	2	3	1	4	2	0	5	3	1
$N=2(2l+1)$	2	6	2	10	14	6	18	10	2	22	14	6
$\sum N$	2	8	10	20	34	40	58	68	70	92	106	112

ولكي نحصل على شكل حقيقي للكمون يجب أن تغير أركان بئر الجهود لتصبح مستديرة. هذا الأخير يعطي مستويات مغلقة عند الأعداد 2، 8، 20، 40، 70 و 112 وبمقارنتها مع الأعداد السحرية نجد أنها تنطبق عند الأعداد الثلاث الأولى فقط، ولذلك وجب تغير البئر الكموني للحصول على الأعداد السحرية.

فاقترح العلماء Jensen و Goeppert-Mayer نموذجا جديدا يأخذ في الاعتبار الازدواج بين اللف المغزلي و الحركة الدورانية ويصبح بئر الكمون يأخذ الشكل التالي:  $V(r) + U(r)(\vec{s} \cdot \vec{l})$  حيث  $V(r)$  هو الجهد المتذبذب الهارموني ( جهد ساكسون- وودز):

$$U(r) \propto \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial r}$$

إن الكمون L.S يسبب انشطار مستوى  $J = l \mp 1/2$  بحيث أن  $J = l + 1/2$  يكون ذو طاقة أقل، انحراف الطاقة من الرتبة الأولى يكون:

$$\begin{aligned} \langle nljm \| V_{ls} \| \rangle &= - \langle U(r) \rangle_{nl} \frac{1}{2} \left[ j(j+1) - 1(l+1) - \frac{3}{4} \right] \hbar^2 \\ &= \frac{1}{2} (l+1) \hbar^2 \langle U(r) \rangle_{nl} \quad \text{for } j = l - \frac{1}{2} \\ &= -\frac{1}{2} l \hbar^2 \langle U(r) \rangle_{nl} \quad \text{for } j = l + \frac{1}{2} \end{aligned}$$

حيث  $\langle U(r) \rangle_{nl}$  هو تكامل المركزي  $\int_0^\infty r^2 dr R_{nl}^2(r) U(r)$  انشطار مستويات  $j = 1 \pm 1/2$  هو:

$$\Delta E_l = [(2l+1)/2] \hbar^2 \langle U(r) \rangle_{nl}$$

إن التكامل النصف قطري يتحسس بضعف ل  $l$  لذلك فإن الانشطار سبين-مدار يزداد مع  $l$  بمقدار  $(2l+1)$  فكلما كان الدفع الزاوي المداري كبيرا كلما ازداد انفصال مستويات  $j$  الناتج عن برم-مدار بسبب تفاعل سبين-مدار تعين حالات الجسيم المفرد للنيوكلونات باستخدام الرموز  $nljz$  تعين الحالة الكاملة هو  $\langle nljm \rangle$  لذلك فإن كل مستوي  $nljz$  يمكن أن يأخذ  $2j+1$  بروتون ونيوترون طبقا ل  $2j+1$  من قيم  $m$  وفي هذه الحالة يكون للمستوي ذي العدد الكمي المداري / قيمتين للطاقة طبقا للدوران المتبادل لللف المغزلي  $\vec{s}$  وكمية العزم الزاوي والمداري  $\vec{l}$  أي أنه يتفرع إلى مستويين  $j = l \pm \frac{1}{2}$  وبذلك فإنه بدلا ممن الحالة  $np(l=1)$  فإننا نحصل على حالتين الفرعيتين  $np_{3/2}$  و  $np_{1/2}$  وهكذا والشكل يلخص عملية الانقسام واعدادة ترتيب المستويات النووية في نموذج الطبقات.

ان صحة أي حالة توضح بها النواة يمكن ان تختبر وذلك بحساب العزم المغناطيسي للنواة ومقارنة القيمة النظرية بالقيمة التجريبية فبالنسبة للأنوية التي تحتوي على نكليون زائد عن المستوي المغلف فإن العزم المغناطيسي للنواة يساوي عزم هذا النكليون ويمكن حسابه من المعادلتين التاليتين:

- إذا كان النكليون بروتونا، يكون عزمه المغناطيسي كالاتي:

$$\mu_p = (\vec{I} + 2.29) \mu_B \quad j = l + \frac{1}{2}$$

$$\mu_p = \left[ \frac{\bar{I} - 2.29}{I + 1} \right] I \mu_B \quad j = l - \frac{1}{2}$$

- إذا كان النكليون نيوترونا يكون عزمه المغناطيسي كالاتي:

$$\mu_n = 1.91 \mu_B \quad j = l + \frac{1}{2}$$

$$\mu_p = \left[ \frac{1.91}{I + 1} \right] I \mu_B \quad j = l - \frac{1}{2}$$

وفي حالة الأنوية الخفيفة تؤخذ مساهمة النكليونات بعين الاعتبار في حساب العزم المغناطيسي إضافة إلى العزم المغناطيسي لنكليونات التي تكون في المستويات المغلفة وقد وجد أن القيم المحسوبة توافق القيم العملية.

#### 4.5 التمارين المقترحة

التمرين الأول: احسب الحاجز الجهدي الكولومبي لنواتي الديتريوم بفرض ان القوة النووية تتسع بحدود 2 fr - احسب درجة الحرارة المطلوبة للتغلب على هذا الجهد.

#### التمرين الثاني:

اوجد قيمة حد التزاوج  $a_p$  في الصيغة النصف تجريبية للكتلة باستعمال كتل الايزوبارات التالية:  
 $M(^{50}_{25}\text{Mn})=49.954215$ ,  $M(^{50}_{24}\text{Cr})=49.946055$ ,  $M(^{50}_{23}\text{V})=49.947164$ ,  $M(^{50}_{22}\text{Ti})=49.944786$ ,  
 $M(^{50}_{21}\text{Sc})=49.951730$

#### التمرين الثالث:

$$E_{Coul} = \frac{3K(Ze)^2}{5R} \quad \text{الطاقة الكولومبية بالعلاقة التالية:}$$

ناقش فيزيائيا ورياضيا هذه الطاقة

#### التمرين الرابع:

1/- استعمل نموذج الطبقات ومثل مخطط لتوزيع النكليونات لكل من الانوية التالية  $^{16}_9\text{F}$ ,  $^{17}_9\text{F}$ ,  $^{18}_9\text{F}$ .  
 - اوجد العزم الزاوي لكل من هذه الانوية.

2/- احسب الفرق في الطاقة بين مستويي الطاقة للنيوترونات  $1d_{5/2}$ ,  $1p_{1/2}$ .  
 حيث ان:  $M(^{18}_9\text{F})=18.000937$ ,  $M(^{17}_9\text{F})=17.002095$ ,  $M(^{16}_9\text{F})=16.011466$

## التفاعلات النووية

يحدث التفاعل النووي عندما يتفاعل جسيم مقذوف بنواة منتجا جسيم منبعث ونواة مختلفة باقية وواضح أن ما نقوم به هو تغيير لمميزات النواة الأصل.

دراسة التفاعلات النووية تعطينا معلومات حول الحالات المثيجة للأنوية. إذن التفاعل النووي يكون عندما يتفاعل جسيم مقذوف  $x$  مع نواة هدف  $X$  منتجا جسيم منبعث  $y$  ونواة مختلفة  $Y$ .

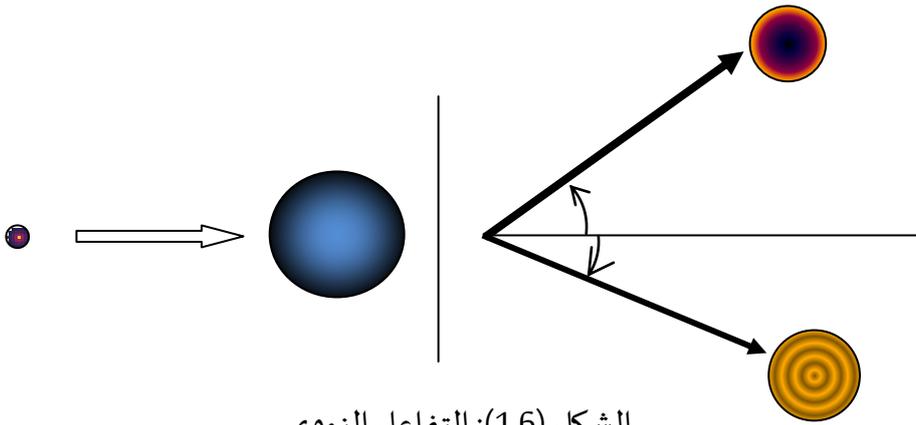
### 1.6 معادلة التفاعل النووي:

يمكن التعبير على أي تفاعل نووي كما يلي:

$$X(x, y)Y$$

بإختصار

و يحدث التفاعل النووي كما في الشكل (1.6)



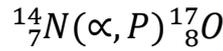
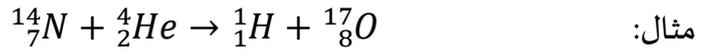
الشكل (1.6): التفاعل النووي

### 2.6 الجسيمات المقذوفة

بعض الجسيمات المقذوفة:

الجسيمات القاذفة

particule		Notation
neutron	n	${}^1_0n$
Proton	p	${}^1_1H$
Deutéron	d	${}^2_1H$
tritérium	t	${}^3_1H$
Heluim3	h	${}^3_2He$
Heluim4	$\alpha$	${}^4_2He$



مناقشة بعض الحالات :

عادة ما يكون  $x, y$  نكليون أو نوى خفيفة أو فوتونات

- إذا كان  $x$  هو  $y$  فالتفاعل تفاعل تشتت و  $X$  هو  $Y$
  - يكون التشتت مرن إذا كان مجموع الطاقة الحركية ل  $Y$  و  $y$  يساوي الطاقة الحركية ل  $X$
  - يكون التشتت غير مرن إذا كان مجموع الطاقة الحركية ل  $Y$  و  $y$  أقل من الطاقة الحركية ل  $x$  وتنتج إذن نواة راسبة  $Y$  متهيجة
  - إذا كانت  $x$  هي فوتون يسمى التفاعل تفاعل فوتو نووي
  - إذا كانت  $y$  هي فوتون يسمى التفاعل النووي بالأسر الإشعاعي
- في التفاعل النووي تكون الشحنة الكهربائية وعدد النكليونات محفوظة إذا كانت كتلة المتفاعلات أكبر من كتلة النواتج يحدث التفاعل. إذا كانت كتلة المتفاعلات أقل من كتلة النواتج لا يحدث التفاعل إلا إذا كان الجسم القاذف يملك سرعة كبيرة .

### 3.5 معادلة الطاقة المتحررة للتفاعل النووي:

من الشكل (1.6) نجد:

- إنحفاظ الطاقة:

$$K_x + M_x c^2 + M_x c^2 = K_y + M_y c^2 + K_Y + M_Y c^2 \quad (1.6)$$

$$(K_y + K_Y) - K_x = (M_x + M_X) c^2 - (M_y + M_Y) c^2 \quad (2.6)$$

$$\varphi = (K_y + K_Y) - K_x \quad (3.6)$$

$$\varphi = (M_x + M_X) c^2 - (M_y + M_Y) c^2 \quad (4.6)$$

- إنحفاظ الدفع:

$$P_x = P_y \cos \theta + P_Y \cos \varphi \quad (5.6)$$

$$0 = P_y \sin \theta + P_Y \sin \varphi \quad (6.6)$$

$$P_x^2 - 2P_x P_y \cos \theta + P_y^2 = P_Y^2 \quad (7.6)$$

$$2M_x K_x - 2(2M_x K_x)^{1/2}(2M_y K_y)^{1/2} \cos\theta + 2(2M_y K_y) = 2M_y K_y \quad (8.6)$$

نحسب  $K_y$  من المعادلة (8.6) وذلك بتعويضها في المعادلة (3.6) نجد:

$$\varphi = K_y \left(1 + \frac{M_y}{M_Y}\right) - K_x \left(1 + \frac{M_x}{M_Y}\right) 2 \frac{(M_x M_y K_x K_y)^{1/2}}{M_Y} \cos\theta \quad (9.4)$$

$\varphi > 0$  ستحرر طاقة من التفاعل - ناشر للحرارة -

$\varphi < 0$  يحتاج التفاعل إلى طاقة كي يحدث

#### 4.6 طاقة العتبة:

$$K_{th} = \frac{-\varphi(M_y + M_Y)}{M_Y + M_y - M_x} \quad (10.6)$$

$$K_{th} = \frac{-\varphi(M_x + M_X)}{M_x} \quad (11.6)$$

#### 5.6 التمارين المقترحة

**التمرين الأول:** عند استخدام ديترونات طاقتها 5Mev في التفاعل  $^{14}_7\text{N} (d,p) ^{15}_7\text{N}$  انبعث بروتون بزاوية

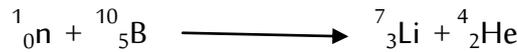
قدرها 90° وطاقة 12.124Mev مع العلم ان النواة  $^{14}_7\text{N}$  ساكنة

- احسب مقدار طاقة التفاعل Q

- احسب كتلة النواة  $^{14}_7\text{N}$

$$M(^{15}_7\text{N})=15.000108u \quad , \quad m(^1_1\text{H})=1.007276u \quad , \quad M(^2_1\text{H})= 2.014101u$$

**التمرين الثاني:** لدينا التفاعل التالي



يحدث هذا التفاعل حتى في حالة اصطدام نيوترونات بطيئة جدا بذرة بوزون في حالة سكون.

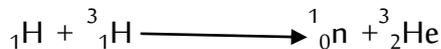
افرض ان  $K_x = 0$  وان سرعة جسيمات الفا كانت  $9.3 \cdot 10^6$  m/s

- احسب الطاقة الحركية لنواة الليثيوم

- احسب مقدار طاقة التفاعل Q

- احسب كتلة النواة  $^{10}_5\text{B}$

$$M(\alpha)=4.002603u \quad , \quad M(^7_3\text{Li})=7.016004u \quad , \quad M(^1_0\text{n})=1.008665u \quad , \quad 1u=1.66 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$$



**التمرين الثالث:** لدينا التفاعل التالي

$$m(^1_1\text{H})=1.007276u \quad , \quad M(^3_1\text{H})=3.0160492675u \quad , \quad M(^3_2\text{He})=3.0160293097u \quad ,$$

$$M(^1_0\text{n})=1.008665u$$

احسب طاقة العتبة للبروتون علما ان  $Q = -0.764 \text{ Mev}$

**التمرين الرابع:** اصطدم فوتون طاقته  $6 \text{ Mev}$  مباشرة مع نواة  ${}^4_2\text{He}$  طاقتها  $2 \text{ Mev}$  لهما نفس الاتجاه وأنتجا ديترونين.

- اذا كان للديترونين نفس زاوية التبعثر بين ان لهما نفس الطاقة.
- احسب الطاقة الحركية لكل من الديترونين.

$$M(\alpha) = 4.002603u \quad , \quad M({}^2_1\text{H}) = 2.014101u$$

للمفاعلات النووية فوائد عديدة إذا أحسن استخدامها في نفع الإنسان ورفاهيته ومن هذه المنافع العظيمة توليد الطاقة النووية وتحويلها إلى طاقة كهربائية بواسطة ما يعرف بمحطات القوى الكهربائية ويمكن الحصول عليها بواسطة المحطات الحرارية التي تعمل بالوقود العادي ليس لها حوادث تذكر بالمقارنة بما يحدث للمفاعلات النووية القديمة وتسرب الإشعاعات إلى الأماكن القريبة منها و الأخطار الناتجة عن النفايات النووية من هذه المحطات و أثارها الضارة على البيئة.

إن للأرض موارد محدودة من النفط والفحم وهذه الموارد ستستخدم خلال 63-95 سنة حيث تقدر الكميات المؤكدة من احتياطي النفط بالعالم بحدود (1.4-2.1) ترليون برميل. الفترة (63-95) سنة حسبت على أساس الاستهلاك الفعلي للنفط حاليا مع زيادة بحدود 1% - 2% سنويا حيث متوسط الاستهلاك السنوي بحدود 80 مليون برميل نفط.

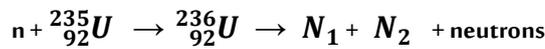
لغرض المقارنة فإن طن واحد من اليورانيوم يعطي طاقة تعادل الطاقة الناتجة من ملايين الأطنان من الفحم أو ملايين البراميل من النفط الآثار الجانبية لحرق الفحم والنفط يؤدي إلى تلوث البيئة بينما مفاعل نووي مصمم بشكل جيد ويعمل تحت رقابة وإشراف جيدين لا يؤدي إلى إطلاق أي تلوث في الجو.

### 1.7 الانشطار النووي

الانشطار هو عملية تنقسم فيها النواة الثقيلة عند قذفها بنيوترون إلى شطين (وهي الحالة الأكثر حدوث) أو أكثر مع انبعاث النيوترونات، هذه الأجزاء متمثلة في عناصر تقع وسط الجدول الدوري وليس إلى عناصر انتقالية عن اليورانيوم كما كان يعتقد فرمي.

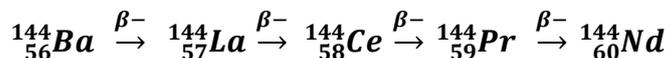
اليورانيوم  $^{238}\text{U}$  هو من بين الثلاثة نوى الثقيلة قابلة للانشطار هي  $^{238}\text{U}$  و  $^{239}\text{Pu}$  أما الطاقة الحرارية لنيوترونات فهي بحدود 0.025 إلكترون فولت.

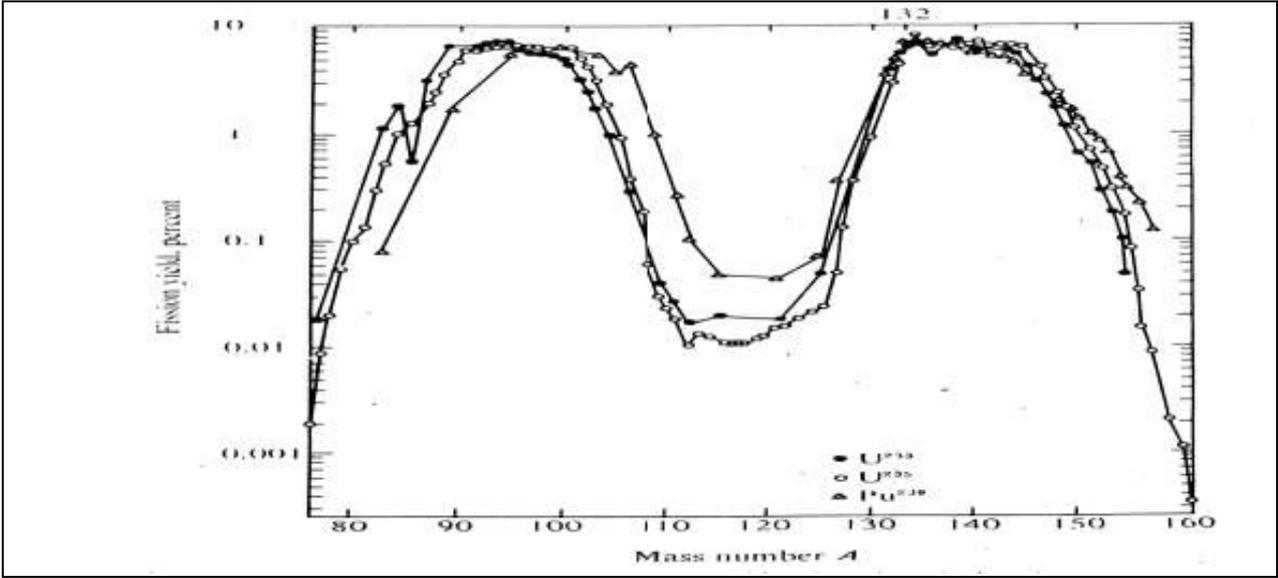
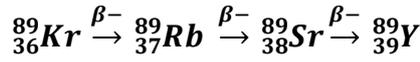
وبشكل عام تعطى معادلة الانشطار النووي كالتالي :



إن الأجزاء النووية الناتجة من انشطار النواة الثقيلة ( $^{235}\text{U}$ ) تدعى بشظايا الانشطار أو نواتج الانشطار Fission fragment، ولقد لوحظ إن الشظايا الناتجة من الانشطار تكون لها نصف كتلة اليورانيوم تقريبا لكنهما، نادرا ما يكونان متساويان.

وهذه الشظايا تتحلل بدورها إلى عناصر أخرى مما يعني إمكانية إنتاج عناصر جديدة بهذه الطريقة، فمثلا نجد ان نواتج التفاعل النووي تحلل كما يلي:





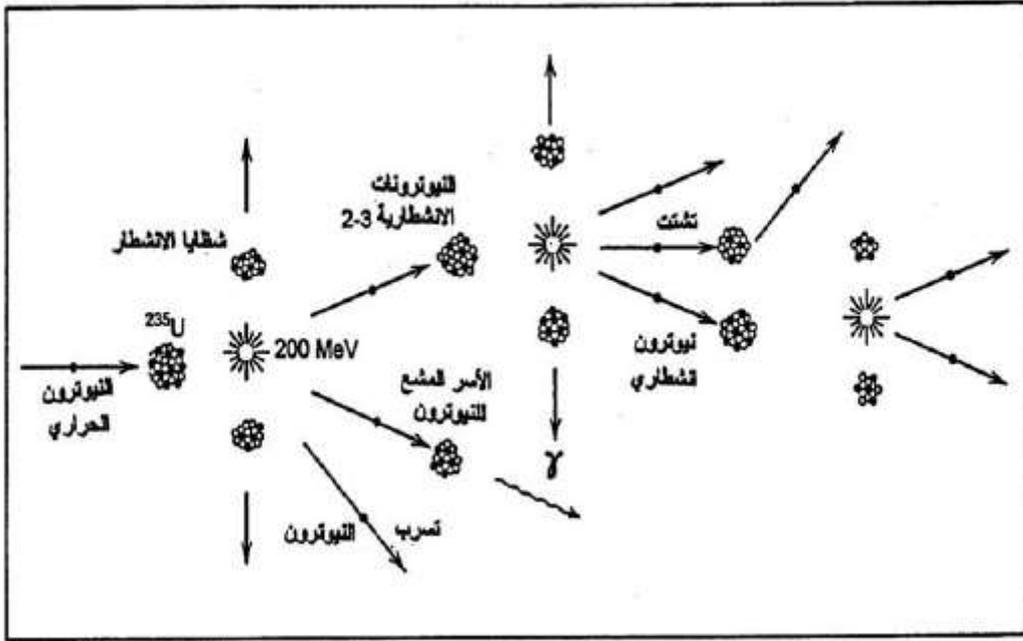
الشكل (1.7): منحنيات كتل نواتج انشطار نوى  ${}^{233}\text{U}$  و  ${}^{235}\text{U}$  و  ${}^{239}\text{Pu}$  بواسطة النيوترونات البطيئة.

يوضح لنا هذا الشكل توزيع الشظايا الانشطارية الناتجة من انشطار  ${}^{233}\text{U}$  و  ${}^{235}\text{U}$  و  ${}^{239}\text{Pu}$  تبعاً لكتل كل منها، بحيث يشير البيان إلى احتمال الحصول على مثل هذه الشظايا المتساوية الكتلة أمر ضعيف الذي يمكن أن يحدث مرة واحدة لكل  $10^4$  تفاعل انشطاري. كذلك فإننا نستطيع ملاحظة أن الشظايا ذات الكتل من 90 إلى 100 ومن 135 إلى 145 تمثل موقع الصدارة من حيث ارجحية الحصول عليها من الانشطار  ${}^{235}\text{U}$ ، بحيث تكون الطاقة الحركية لشظايا الانشطار كبيرة جداً بحدود 200 إلكترون فولت لكل انشطاري.

### 1.1.7 التفاعل النووي المتسلسل

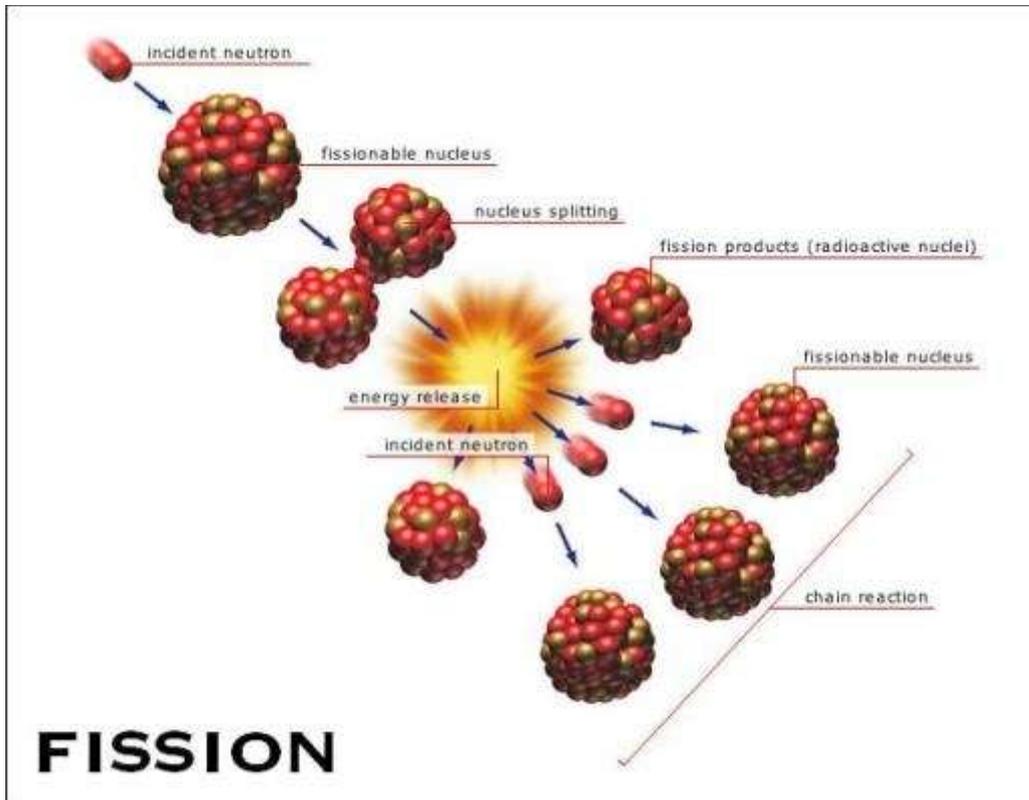
• تتحرر عند انشطار النوى طاقة هائلة، حوالي 200 إلكترون فولت لكل نواة منشطرة. وكذا يصاحب هذا انشطار انطلاق نيوترونات إضافية معدل هذه النيوترونات الناتجة هو من 2.5 إلى 3 نيوترون لكل تفاعل انشطاري أي في حال انشطار نواة واحدة.

ولتوضيح أهمية ذلك، لنفترض أننا بدأنا بقصف نواة  ${}^{235}\text{U}$  بـ نيوترون فتنشطر هذه النواة معطية نيوترونين، لنفترض أن كلا منهما ينفذ إلى نواة من أنوية اليورانيوم ويسبب انشطارها. فتحرران أربعة نيوترونات جديدة، وهذه النيوترونات تسبب انشطار أربعة أنوية وانبعثت ثمانية نيوترونات، وفي الجيل التالي نجد ستة عشر نيوتروناً ثم اثنان وثلاثون وهكذا... أي أن كل من كمية النيوترونات المتحررة وكمية الأنوية المنشطرة تزداد باستمرار وهو موضح في الشكل رقم (2.7).



الشكل (2.7): التفاعلات الانشطارية النووية لنواة  $^{235}\text{U}$

وهذه الانشطارات يرافقها بالطبع طاقة هائلة من الممكن أن تسبب كارثة أن لم تتم السيطرة عليها، وهذا النوع من التفاعلات يسمى بالتفاعلات المتسلسلة Chain réactions، وهذا موضح في الشكل التالي:

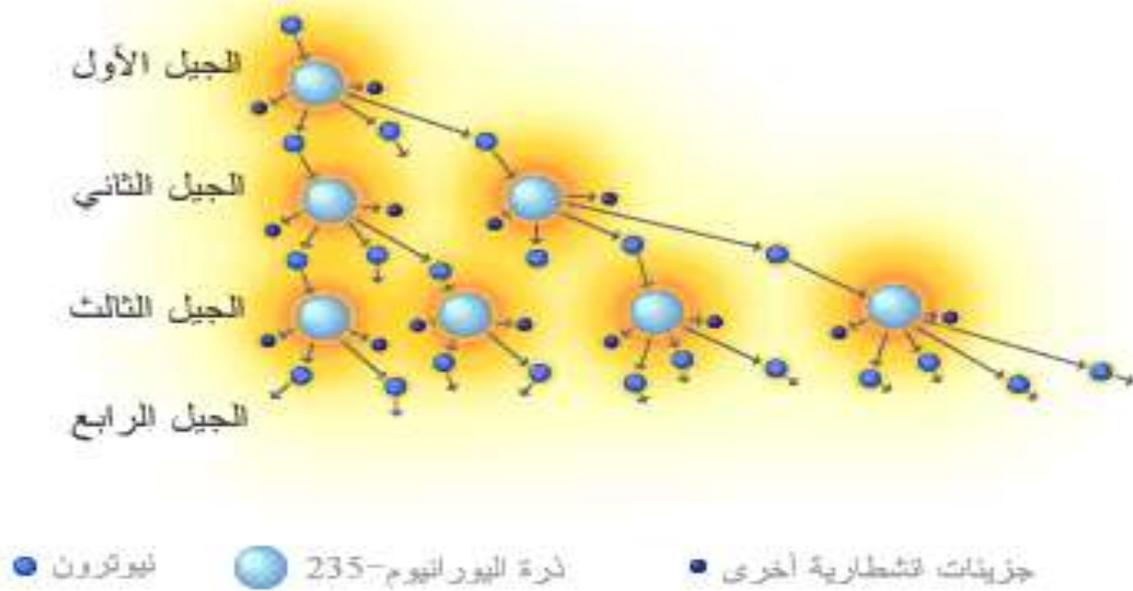


الشكل (3.7): شكل يوضح التفاعل المتسلسل.

## 2.1.7 معامل التضاعف

لكن من جهة أخرى لا تقع كافة النيوترونات الثانوية أو الإضافية في أسر انوية المادة الانشطارية، ففي الأجهزة التي يجري ضمنها التفاعل المتسلسل هناك دوماً مواد أخرى بالإضافة إلى المادة الانشطارية بعضها ينقل الحرارة من منطقة جريان التفاعل إلى خارجها (حوامل الحرارة)، و أخرى تهدئ النيوترونات (المهدئات) وثالثة عبارة عن مواد إنشائية كالحواجز و أغلفة الوقاية . . الخ، وهكذا فان نمو التفاعل المتسلسل لا يتحدد من عدد النيوترونات الثانوية فحسب بل ومن درجة الاستفادة من هذه النيوترونات للانشطارات اللاحق الشكل(4.7).

### التفاعل الانشطاري المتسلسل



الشكل (4.7): يوضح التفاعل الانشطاري المتسلسل بواسطة النيوترونات المستفاد منها.

وسنطلق اسم معامل المضاعفة على نسبة عدد النيوترونات المتكونة في الجيل الحالي على عدد النيوترونات الجيل السابق،

$$K = \frac{\text{number of neutrons in the present generation}}{\text{number of neutrons in the previous generation}}$$

يحدد معامل التضاعف  $K$  سرعة نمو التفاعل المتسلسل. و لحساب هذه السرعة نرسم للمجال الزمني الوسطي الفاصل بين لحظة الانشطار و لحظة الامتصاص نوى المادة الانشطارية للنيوترونات الثانوية بالرمز  $\zeta$  ليكن  $N$  عدد النيوترونات في الجيل المدروس (الحالي)، ففي الجيل الموالي يصبح عددها  $KN$ ، وبما أن تغير عدد النيوترونات هو  $\Delta N = KN - N = N(K-1)$  يجري خلال الزمن  $\zeta$  فان سرعة التنامي للتفاعل المتسلسل هي:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{N(K-1)}{\zeta}$$

$$N = N_0 e^{\frac{(K-1)t}{\tau}}$$

بالمكاملة نجد

حيث  $N$  عدد النيوترونات المتكونة خلال عملية الانشطار، في اللحظة  $N_0, t$  عددها في اللحظة الابتدائية فإذا كان:

•  $K > 1$  تزايد  $N$  بمرور الزمن ويدعى بالنظام فوق الحرج  $supercritical system$  وهو ما يحدث في القنابل الذرية.

•  $K = 1$  يبقى عدد النيوترونات على الحالة، ويسمى تفاعل متسلسل عندئذ "مستديما ذاتيا" أو يدعى بنظام الحرج  $critical system$  وهو ما يحدث في المفاعلات.

•  $K < 1$  فان عدد النيوترونات يتناقص، وبالتالي عدد الانشطارات يتناقص بمرور الوقت ويسمى التفاعل عندئذ متخامد أو بالنظام دون الحرج  $subcritical system$  وبالطبع التفاعل سينتهي بعد فترة، ويستخدم هذا النوع من المفاعلات لأغراض البحث العلمي.

### 3.1.7 مستقبل المفاعلات الانشطارية

إن أعمار المفاعلات الانشطارية بين 20 الى 30 عاما ثم تصبح غير صالحة للاستعمال إلى الأبد وتصبح أجزاء المفاعل جميعها ملوثة بالأشعة وكذلك المنطقة المحيطة، فهي تصاحب أخطار مضرّة للحياة حيث هذا النوع من المفاعلات يحتاج إلى الماء في عمله، لقد بينت الدراسات ان مياه الشواطئ التي بنيت عليها المفاعلات الانشطارية تتلوث إشعاعي مما يعني انتقال الاشعاعات إلى الأسماك والكائنات الحية وبالتالي إلى الإنسان، وهناك تلوثا حراريا للبيئة مما يؤدي إلى تغير في المناخ الذي يؤثر على نوعية المحاصيل وارتفاع منسوب مياه البحار ونقصان كمية الأكسجين، ويجب أن لا ننسى ان للمفاعلات الانشطارية نواتج وفضلات لها نصف عمري طويل قد يصل إلى مئات ملايين السنين.

ضف إلى ذلك أن المفاعلات قد تكون عرضة للتخريب المتعمد كما حدث للمفاعل النووي العراقي الذي ضربه الكيان الصهيوني. أو مما يحيط الآن بالبرنامج النووي الإيراني.

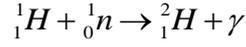
### 4.1.7 مفاعلات التشظي

تعتبر هذه المفاعلات من المفاعلات المستقبلية التي يمكن أن تستخدم النيوترونات المتولدة من اصطدام البروتونات الفائقة الطاقة بأحد العناصر الثقيلة مثل الرصاص في توليد الطاقة الكهربائية وفي تحويل المخلفات المشعة المتولدة في المفاعلات النووية التقليدية إلى أخرى اقل خطرا في مفاعلات نووية غير حرجة، حيث تستخدم في هذه المفاعلات مسرعات لتعجيل البروتونات وجعلها تصطدم مع هدف مبرد يحوي عنصر الرصاص أو عنصر آخر ثقيل لتوليد نيوترونات سريعة بعملية التشظي.

## 2.7 التفاعلات الاندماجية

عند اقتراب بروتونان ونيوترونان من بعضهما البعض لتكوين نواة الهليوم سيكون هناك ضياع في الكتلة، فقدان الكتلة هنا يؤدي الى تحرير كمية كبيرة من الطاقة.

ان بناء نوى كبيرة بربط نوى صغيرة ببعضها البعض يسمى اندماج نووي، احد ابسط تفاعلات اندماج النووي هو انتاج الديتريوم  $^2_1D$  من نيوترون وبروتون حسب المعادلة التالية:



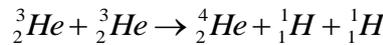
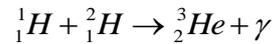
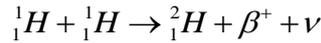
الطاقة المتحررة من هذا التفاعل:

$$1.007825 + 1.008665 = 2.016490 \text{ Uma}$$

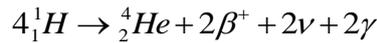
$$2.014102u < 2.016490 \text{ Uma}$$

إذا يمكننا القول أن طاقة الربط لكل نكليون بعد التفاعل تكون أكبر من قبل التفاعل. وبالعودة إلى مخطط طاقة ربط نكليون بدلالة العدد الكتلي A نلاحظ أن طاقة الربط للنكليون الواحد تزداد بزيادة العدد الكتلي إلى غاية A يساوي 60 وعليه فإن الاندماج النووي لنواتين لإنتاج نواة ثالثة عددها الكتلي أقل من 60 يمكن أن يحدث وأن عملية الاندماج تسير عكس عملية الانشطار.

الشمس عبارة عن مفاعل نووي اندماجي حيث يعتقد العلماء أن الطاقة تنتج من سلسلة من التفاعلات الاندماجية تسمى دورة بروتون-بروتون.



هذه السلسلة يمكن ان تتلخص بالمعادلة التالية:



لاحظ اننا بحاجة الى نواتين من  $^3_2He$  وهذا يفسر لنا حصولنا على  $2\beta^+, 2\nu$

## 1.2.7 المفاعلات الاندماجية

إن كل من المفاعلات الناتجة من الاندماج النووي تعد من المفاعلات المستقبلية حيث نلاحظ أن المفاعلات الاندماجية تتميز بأنها تستخدم وقودا رخيصا. فالديتريوم يوجد بنسبة ذرة واحدة بين كل 6500 ذرة

هيدروجين. إن النواتج النهائية للتفاعلات الاندماجية ما هي إلا نظائر الهيليوم والهيدروجين وليس هناك إنتاج لأي عنصر ثقيل. إضافة إلى ذلك ليس هنالك مجالاً لحدوث الحوادث الفجائية لأن المفاعلات الاندماجية تنهي نفسها بنفسها. لأن التفاعل النووي الاندماجي هو عملية يتم فيها اندماج نواتين خفيفتين ليكونا نواة واحدة أثقل منهما.

### 1.1.2.7 مفاعل أيترا الاندماجي ITER

لقد تم احراز تقدم هائل في بحوث اندماج التي تجرى على يد علماء من جميع انحاء العالم على مدى العقود الماضية، وتستعد الجماعة المهتمة بشؤون طاقة الاندماج لاتخاذ الخطوة التالية، حيث اتمت تصميم تجارب المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي (ITER) ونبعت فكرة مشروع هذا المفاعل في مؤتمر القمة للدول العظمى في جنيف.

### 2.1.2.7 مبدا عمل مفاعل ITER

يقوم هذا الجهاز على مفهوم التوكوماك، وهو عبارة عن وعاء على شكل الطارة (الانوية الحلقية) محاط بحلقات يتولد عنها مجال مغناطيسي شديد، حيث يمكن بواسطة هذا المجال خلق الظروف الملائمة لعملية اندماج النووي، والحلقات تكون جميعها مصنوعة من مواد لها القدرة الكبيرة على التوصيل الكهربائي.

ويتم تسخين مخلوط الوقود الذي يتكون من التريتيوم و الديتريوم نظيري الهيدروجين، حيث تكون درجة الحرارة هذا الوقود الى مئة مليون درجة، وتؤدي درجات الحرارة العالية إلى اندماج بعض جسيمات الوقود منتجة ذرة الهيليوم، كما يتولد نيوترون واحد عن كل تفاعل اندماج نووي. وتنتقل معظم الطاقة المولدة من تفاعل اندماج الى الجدار عن طريق النيوترونات، وفي داخل هذا المفاعل تتفاعل النيوترونات مع طبقة رقيقة من ذرات الليثيوم حيث يتم انتاج وقود التريتيوم، ويتم التخلص من الحرارة الناتجة عن ابطاء حركة النيوترونات بواسطة مائع التبريد.

إن الطاقة الناتجة عن تفاعل البلازما أكثر من الطاقة اللازمة لإحداث هذا التفاعل، فانه ينبغي ان تكون البلازما ساخنة لدرجة حرارة عالية و لمدة زمنية طويلة.

### 3.1.2.7 مفاعل ITER على طريق طاقة الاندماج

إن مشروع هذا المفاعل ليس غاية في حد ذاته، انه جسر نحو المحطة الأولى التي توضح إمكانية إنتاج الطاقة الكهربائية على نطاق كبير. إن الهدف بعيد المدى للبحث والتطوير في مجال الاندماج النووي هو الوصول إلى نماذج أولية لمحطات طاقة الاندماج والتي تبرهن أمان التشغيل والتوافق البيئي، وتنطوي الإستراتيجية اللازمة للوصول إلى هذه الأهداف بعيدة المدى على عدد من العناصر المختلفة، و أولها هي إقامة مشروع (ITER)، ثم يليه إنشاء مفاعل يطلق عليه DEMO الذي يبرهن هذا المشروع على إمكان التوليد واسع النطاق لطاقة الاندماج، وعلى الاكتفاء الذاتي لوقود التريتيوم. ويتوقع أن يكون مشروع (DEMO) جهازاً

للتشغيل خلال 30-35 عام من بداية اعمال الانشاء في مفاعل (ITER) الذي يقود هذا المشروع إلى تكنولوجيا الاندماج إلى عصرها الصناعي ويفتح السبيل نحو أول محطة تجارية لطاقة الاندماج النووي.

والهدف بعيد المدى من بحوث الاندماج هو تسخير هذه العملية للمساعدة في تلبية الاحتياجات المستقبلية للطاقة. إن هناك احتمالات جيدة لتوفير الطاقة الآمنة والمحمية بيئياً على نطاق واسع بهذه الطريقة التي تتميز بوفرة مصادر الوقود.

وفي الأخير نذكر إن الوقود الذي يعول عليه مفاعلات الاندماج المستقبلية يتميز بعدة فوائد على تفاعلات ديتريوم-تريتيوم، فهي تنتج نيوترونات قليلة وبعضها لا ينتج على الإطلاق، ومن الممكن تحويل نواتج الاندماج المشحونة إلى كهرباء بدون الحاجة إلى دورة حرارية.

يمكن الربط بين منظومتي الانشطار والاندماج بشكل له مردود ايجابي وتعتبر الفكرة الأولى، أما الفكرة الثانية تعتمد على استخدام المعجلات لتوليد الوقود الذي تستخدمه منظومة الانشطار. في بعض الأحيان تكون هاتان الفكرتان متطابقتين حيث كلاهما يحتاج إلى منظومة ثانوية مساعدة حيث تكون في الأولى المفاعل الاندماجي وفي الثانية تكون منظومة لتوليد المادة الانشطارية.

من الواضح انه ليس بإمكان إعطاء الصورة المتوقعة لاستغلال واستهلاك الطاقة للعشرة أو العشرين سنة القادمة، إن اختيار طريق معين لا يعتمد بصورة مجردة على التكنولوجيا وتطورها و طرحت تساؤلات تخص ربط الطاقة النووية بالمستقبل واستخداماتها، كما نمت وتطورت المفاعلات النووية التي بواسطتها نحصل على الطاقة.

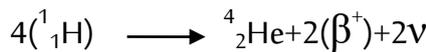
إن المفاعلات النووية تعتبر في غاية التعقيد وليس هنالك مجالاً لحدوث خطأ سواء كان ناتجاً عن السهو أو الخلل.

### 3.6 التمارين المقترحة

التمرين الثاني: احسب كمية الطاقة المتحررة للتفاعل اندماجي النووي الاتي:



التمرين الثالث: احسب كمية الطاقة المتحررة من تفاعل اندماج لسلسلة البروتون-البروتون المعطى في الشكل:



التمرين الرابع: لتكن  $\Delta m$  نقص الكتلة للنكليد  ${}^A_Z X$ ، نعرف  $f = \frac{\Delta m}{A}$  بانها نسبة التغليف (وهي تعطي فكرة

عن الطاقة المتوسطة التي تربط نكليونات النواة) عندما تكون  $A$  كبيرة نسبيا فان العلاقة التالية محققة

$$10^4 f = -16 + \frac{AX_0}{11} \quad X_0 = 1 \text{uma} \quad :$$

اذا كان انشطار نواة اليورانيوم  ${}^{235}\text{U}$  حسب التفاعل التالي:  ${}^{235}\text{U} + {}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^{90}\text{X} + {}^{143}\text{Y} + 3$

احسب النقص في الكتلة لكل من  ${}^{235}\text{U}$ ,  ${}^{90}\text{X}$ ,  ${}^{143}\text{Y}$

2- احسب الطاقة المتحررة عن الانشطار.

التمرين الخامس: ماهي مزايا ومساوي استعمال الماء العادي كمهدئ في المفاعلات النووية.

التمرين السادس: يقضي العلماء وقت معتبرا في البحث عن اماكن صالحة لإقامة مفاعلات نووية عليها،

لماذا؟

التمرين السابع: كم هي كتلة اليورانيوم 235 التي يجب ان تخضع الانشطار كل يوم لتجهيز 3000MW من

القدرة الحرارية.

التمرين الثامن: كم هي كتلة اليورانيوم 235 التي انشطرت في القنبلة الذرية الاولى التي كانت طاقتها تكافئ 20

كيلوطن من المادة المتفجرة TNT

حيث:  $1\text{Kton(TNT)} = 5 \cdot 10^{12} \text{ Joule}$

- كم كانت كتلة اليورانيوم التي تحولت الى طاقة.

\*كتب باللغة العربية

- [1] د. مكي الحسني، مدخل الى الفيزياء النووية، ديوان المطبوعات الجامعية المساحة المركزية – بن عكنون الجزائر (91-05).
- [2] د. مناف عبد الحسن، الفيزياء النووية، دار صفاء للنشر و التوزيع – عمان، الطبعة الاولى 2008م-1429هـ
- [3] د. محمد حبيب بركات، د. مصطفى عبد السلام نصر، اسس الفيزياء النووية، دار الفكر للطباعة والنشر و التوزيع – عمان، الطبعة الاولى 2000م -1421هـ
- [4] أ. د محمد فاروق احمد، أ. د احمد بن محمد السريع، مبادئ الاشعاعات المؤينة و الوقاية منها، سلسلة من النشرات المتخصصة تصدرها اللجنة الدائمة للوقاية من الاشعاعات بجامعة الملك سعود – المملكة العربية السعودية، 2007م-1428هـ
- [5] د. احمد الناغي، د. محمد نبيل يس البكري، الفيزياء النووية، دار الفكر العربي – القاهرة، 2008م-1429هـ
- [6] أ. ن كليموف، ترجمة الدكتور مجدي مصطفى امام، الفيزياء النووية و المفاعلات النووية، دار (مير) للطباعة و النشر – الاتحاد السوفياتي موسكو، 1980م
- [7] أ. د محمد فاروق احمد، د. احمد سريع، اسس الفيزياء الاشعاعية، سلسلة من النشرات المتخصصة تصدرها اللجنة الدائمة للوقاية من الاشعاعات بجامعة الملك سعود المملكة العربية السعودية، 2007م.
- [8] أ.د. محمد فاروق أحمد - أ.د. أحمد بن محمد السريع، مبادئ الإشعاعات المؤينة و الوقاية منها، الطبعة الثانية، جامعة الملك سعود، 2007، المملكة العربية السعودية.
- [9] نزيه حيدر رزيق قرفول، مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية سلسلة العلوم الاساسية، المجلد 28، العدد 2006، 2006.
- [10] أ.د. أحمد سريع، د. محمد فاروق أحمد، أسس الفيزياء الإشعاعية، سلسلة من النشرات المتخصصة تصدرها اللجنة الدائمة للوقاية من الإشعاعات بجامعة الملك سعود المملكة العربية السعودية، 2007م.
- [11] د. غازي ياسين القيسي، أساسيات الفيزياء الحديثة، الطبعة الأولى، دار المسيرة، الأردن، 2007.
- [12] د. محمد قاسم محمد الفخار، الإشعاع و مصادره و تأثيراته البيولوجية، إيتراك للنشر و التوزيع، القاهرة - مصر، 2006.
- [13] د. فوزي عبد الكريم أكرم، د. محمد قاسم محمد فخار، الفيزياء النووية و الإشعاعية، دار الكتب الوطنية بنغازي- ليبيا.
- [14] أ.د. بن محمد سريع، أ.د. محمد فاروق احمد، مبادئ الإشعاعات المؤينة و الوقائية منها، الطبعة الثانية، جامعة الملك سعود، 2007، المملكة العربية السعودية.

- [15] المهندس أزيد خسر و غفور , استخدامات الأشعة في البحوث و الطب و الصناعة و الحياة العامة, مديرية التقييس و السيطرة, العراق.
- [16] محمد حبيب بركات, اساسيات الفيزياء النووية, الطبعة الاولى 2008-1428, دار الفكر ناشرون وموزعون, المملكة الاردنية الهاشمية-عمان-ساحة الجامع الحسيني-سوق البتراء-عمارة الحجيري.
- [17] ماير هوف ترجمة عاصم عبد الكريم عزوز, مبادئ الفيزياء النووية, الجمهورية العراقية جامعة الموصل, مكتبة العامة لامانة عمان الكبرى 1993.
- [18] عبد الكريم معيرش, المبادئ العامة للفيزياء النووية, ديوان المطبوعات الجامعية, بن عكنون – الجزائر, 2011.

### \*كتب باللغة الأجنبية

- [19] Physique nucléaire, Blanc D, Masson Paris 1980.
- [20] Physique nucléaire et applications : Cours et exercices corrigés, Claude Le Sech, Christian Ngô. Collection: Sciences Sup, Dunod 2010.
- [21] Luc Valentin, Noyaux et particules - Modèles et symétries, Hermann, 1997.
- [22] A.de Shalit & H. Feshbach, Theoretical Nuclear Physics, 2 vol. , John Wiley & Sons, 1974. Volume 1: Nuclear Structure; volume 2 : Nuclear Reactions.
- [23] Michel Gibier, Michel Spiro et Daniel Vigand, la Lumière des neutrinos-seuil-1995.
- [24] Physique Subatomique PHQ 636, David Senechal, Département de physique Faculté des sciences, Université de Sherbrooke 30 Décembre 2008.
- [25] A. R. Edmonds, Angular Momentum in Quantum Mechanics, 3rd printing Princeton University Press, Princeton, New Jersey (1974).
- [26] L. I.Schiff, Quantum Mechanics, 3rd ed., McGraw-Hill, New York (1968).
- [27] J.M. Blattand, V. F. Weisskopf, Theoretical Nuclear Physics, John Wiley and Sons, New York (1952).
- [28] J. D. Walecka, Lectures on Electron Scattering, ANL-83-50, Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois (1984).
- [29] J. D. Walecka, Theoretical Nuclear and Subnuclear Physics, Oxford University Press, New York (1988).