الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم الدقيقة

قسم علوم المادة ميدان علوم المادة
شعبة الفيزياء

مطبوعة في مقياس
الفيرياء النووية
لطلبة السنة الثالثة فيزياء الاساسية

دروس اعمال موجهة

من اعداد
د.مرمي سعيدة

202 5-2026

المقدمة 1

المحور الأول

النواة الذرة

1.I.مقدمة للفيزياء النووية.....3
1.1.I. ماهي الفيزياء النوويه.....3
2.1.I. ماذا تعرف عن النواة nucleus 3
2.I. مصطلحات هامة 4
3.I.الوحدات المستعلة في الفيزياء النووية 4
4.I. الخواص الأساسية للنواة 5
1.4.I. كتلة النواة و شحنتها 5
2.4.I. نصف القطر و الكثافة النووية.....6
3.4.I. السبين النووي 11
1.3.4.I.العزم الزاوي المداري 11
3.3.4.I العزم الزاوي الكلي 13
5.I.طاقة الترابط النووي.....13
6. I.استقرار النواة 17
7.I طاقة الفصل.....17
8.I نظاميات طاقة الفصل.....19
9.I. القوى النووية.....20
1.9.I. طبيعة القوّة النوويّة.....20
2.9.I. تفسير القوة النووية.....21
10.I. العزوم النووية.....22
1.10.I.العزوم الكهربائية 22
1.1.10.I عزم ثنائي القطب الكهربائي 22
2.1.10.I .رباعي أقطاب كهربي 23
2.10.I.العزوم المغناطيسية المتعددة الاقطاب (الثنائية).....24
1.2.10.I. العزم المغناطيسي المداري 24
3.2.10.I.العزوم الثنائية المغناطيسية الجزئية للإلكترونات و النيوكليونات.....26

I .11. النماذج النووية 30
I.1.11.نموذج قطرة السائل للنواة 30
I .1. 1.11. الطاقة الحجمية (E_v).....30
I .2.1.11. الطاقة السطحية (E_s) 31
I .3.1.11.طاقة كولوم (E_c).....32
I .4.1.11. طاقة عدم التناظر (اللاتناظر) 32
I .5.1.11. طاقة الازدواج 33
I .6.1.11.حد الطبقات 34
I .7.1.11. قيم الثوابت لمعادلة طاقة الترابط.....34
I .8.1.11. إثبات صحة نموذج قطرة السائل 36
I .9.1.11.تطبيقات نموذج قطرة السائلة 36
I .2.11. نموذج الطبقات 40
I .2.2.11. تطور النموذج الطبقات 40
تمارين 47

المحور الثاني

التفاعلات النووية

II .1. مقدمة 51
II .2.ديناميكة التفاعلات النووية 51
II .3.عوامل التي تتحكم في التفاعل النووي.....52
II .4.التفاعلات النووية الكلاسيكية 53
II .5.أنواع التفاعلات النووية.....57
II .6. -المقطع العرضي للتفاعل.....62
تمارين 63

المحور الثالث

النشاط الاشعاعي

III .1. لمحة تاريخية.....64
III .2. تصنف الجسيمات أو الإشعاعات التي تنطلق من النواة.....65
III .3. نظرية التفكك {الانحلال الإشعاعي} 66

4.III.ويقاس النشاط الإشعاعي " بالشدة الإشعاعية "..... 67
4.III. عمر النصف ($t_{1/2}$)..... 69
2.4.III. تعيين عمر النصف بالطرق البيانيه 74
5.III.متوسط اعمار الذرات المنحله 76
6.III. التفكك المتسلسل..... 77
7.III. التوازن الإشعاعي 81
1.7.III. التوازن الإشعاعي الانتقالي..... 82
2.7.III. التوازن الاشعاعي الابدي 84
8.III. تحلل جسيمات بيتا β 86
1.8.III. طيف جسيمات β 87
2.8.III. شروط التحلل الذاتي (التلقائي) 90
9.III .انحلال ألفا (تحلل α)..... 94
1.9.III. الانحلال التلقائي 95
2.9.III. طيف طاقة جسيمات α 99
3.9.III. ثابت انحلالα..... 99
9.III .4.نظرية تحلل جسيمات α 100
10.III انحلال γ 103
1.10.III طاقة تحلل γ 105
2.10.III الانتقالات المشعة لأشعة γ 106
11.III بعض تطبيقات على الانحلال الاشعاعي..... 107
12.III سلسلة الانحلال الاشعاعي 108
التمارين..... 110

المحور الرابع

الطاقة النووية

1.IV.مقدمة 114
2.IV. الانشطار النووي..... 114

1.2.IV..تاريخ اكتشاف الانشطار النووي.....114
2.2.IV . تفاصيل تفاعل الانشطار النووي.....117
3.2.IV . .نواتج الانشطار.....117
4.2.IV. مميزاته وعيوبه 119
3.IV.الاندماج النووي.....120
1.3.IV. تعريفه 120
2.3.IV.كيفية الحصول عليه 121
3.3.IV.الاندماج المتحكم فيه.....124
4.3.IV.الاندماج بالاحتجاز المغناطيسي.....124
5.3.IV.المشاكل التي واجهت العلماء 126
6.3.IV.مميزات الاندماج النووى 127
تمارين.....126
المراجع 129

المقدمة

سعى العلماء و منذ اكتشاف الالكترون الى دراسة و معرفة ماهية المادة, و بدأ علم الفيزياء النووية يتسع و بشكل كبير بعد اكتشاف النيوترون و معرفة مكونات النواة . حتى اصبح اليوم من المواضيع المهمة و الاساسية في مجال علوم الفيزياء و العلوم الاخرى.

تستخدم الفيزياء النووية في مجموعة واسعة من المجالات الحيوية، منها :

1. المجال الطبي :التشخيص والعلاج الإشعاعي للأمراض.
2. الطاقة :توليد الطاقة الكهربائية عبر المفاعلات النووية.
3. البيئة و الزراعة : دراسة التلوث، تحسين الإنتاج الزراعي.
4. التأريخ الإشعاعي :تحديد عمر الآثار و الصخور

تعتبر الفيزياء النووية أداة أساسية لفهم العمليات التي تحدث في النجوم وتطور الكون.

ان الهدف من هذه المطبوعة هو تعريف الطالب بالفيزياء النووية. لذا فقد حرصت على ان تكون مادته العلمية مترابطة و متسلسلة باسلوب علميا مبسطا في عملية الشرح و الطرح و التحليل لكي يسهل تتبعها و فهمها وفق المقر الدراسي .

لقد اعدت هذه المطبوعة اعتمادا على مجموعة المحاضرات التي ألقيتها على طلبة السنة الثالثة فيزياء الاساسية بقسم علوم المادة شعبة الفيزياء بجامعة بسكرة و لسنوات عديدة و بالاستعانة بالعديد من المراجع.

يعتمد هذا المقياس على الفيزياء الذرية و على المكانيك الكمي و الكهرومغناطيسي .....

وبالعودة لمضمون المطبوعة نجدها قد جاءت موزعة على اربع محاور اساسية :

بدأها بالمحور الأول نواة الذرة حيث ركزنا على خصائص النواة مثل الكتلة ، الحجم ، طاقة ارتباط النواة العزوم ..... ثم عرض بعض النماذج النووية.

حيث يحتوي المحور الثاني تحديد مفهوم التفاعل النووي و قوانين الحفظ اثناء التفاعلات النووية والأسس التي تحكم حدوث هذا التفاعل بالإضافة إلى دراسة التفاعل بنوعية . والمقطع العرضي للتفاعل.

و في المحور الثالث النشاط الإشعاعي دراسة تحلل النوى غير المستقرة وانبعاث الجسيمات (الفا و بيتا و غاما) و بعض تطبيقات على الانحلال الاشعاعي.

وفي المحور الرابع الطاقة النووية فقد ألقى الضوء على مفهوم الانشطار و الاندماج النووي وكيفية حدوثهما وما يتعلق بهما.

في كل محور احاول إضافة أشكال توضيحية و امثلة تساعد الطالب على فهم أفضل للمادة.

كما ادرجنا في نهاية كل محور مجموعة من التمارين و ستختتم هذه المطبوعة بقائمة من المراجع.

و ختاما اشكر كل من ساعدني في تدريس هذه المادة

المحور الاول
النواة الذرة

I.نواة الذرة

I.1. مقدمة للفيزياء النووية

I.1.1. ماهي الفيزياء النوويه ؟؟

الفيزياء النوية أصبحت في هذه الأيام ضرورة للعالم المتطور ، فقد أصبحت إحدى الأسس الكبرى لبناء المستقبل ، نظراً لما توفره من إمكانيات جبارة وطرق سهلة للتحكم بالطاقة الكامنة. ولكن للأسف اشتهر عند العامة أن الفيزياء النوية ليست سوى قنابل وتدمير ، فعندما يسمعون العامة عن كلمة (نوي) ، يعرض في أذهانهم لقطة انفجار قنبلتي هيروشيما وناجازاكي ،وصور الأطفال المشوهين في حادثة تشرنوبل ،والمصابين بالسرطان في العراق وغيرها من مآسي القوة النوية ، فالفيزياء النوية الآن أصبحت تستعمل في الكثير من حقول المعرفة ، كالطب ،والصناعات، وفي الجيولوجيا ، وفي الكمبيوتر ، وفي الإلكترونيات ، وفي الفضاء ، وفي الآثار ، وفي التعقيم ، وفي الصناعات الكيماوية ، وغيرها الكثير الكثير من الإستخدامات.....

يظن الكثير أن فكرة الفيزياء النوية بدأت مع بداية الفيزياء الحديثة ، وهي في الحقيقة بدأت منذ أن تم اكتشاف الذرة ، ولكنها بدأت تتضح أكثر مع بداية ظهور عصر الفيزياء الحديثة ، التي أنجبت لنا ما يسمى بالفيزياء النوية، التي هي بدورها أنجبت طفلاً صغيراً أسميناه فيما بعد ب(فيزياء الجسيمات الأولية).

I.1.2. تعرف عن النواة

النواة وهي المحور الذي تدور حوله الفيزياء النوية ،هذا الجسيم المنتاهي بالصغر ، يشكل عالم متكامل منظم من القوى عجزت عن وصفه أعظم النظريات العريقة دلت التجارب و الأبحاث على أن النواة هي عبارة عن جسيم مشحون كتلته أكبر بكثير من كتلة الإلكترونات التي هي عبارة جسيمات صغيرة تدور حول النواة بسرعة كبيرة ، وقد أثبت التجارب على أن النواة تتكون من نوعين من الجسيمات هما : البروتونات والنيوترونات ، ولأن هذين النوعين من الجسيمات يتشابهان بشكل كبير فيطلق عليهما لفظ (النيوكلونات) .

2.I. مصطلحات هامة

الكوارك (Quark)

هو جسيم أولي يمثل احد مكونات البروتونات و النيوترونات له ستة أنواع و له شحنات مختلفة

النظائر : تعرف النظائر بأنها العناصر التي تحمل نفس العدد الذري Z وتختلف في العدد الكتلي A .وقد أكتشف حتى الآن حوالي 1000 نظير مشع و غير مشع لعناصر الجدول الدوري .

الأيزونات : هي تلك العناصر التي تمتلك نفس العدد من النيوترونات .

الأيزوبارات : هي تلك العناصر التي تمتلك نفس العدد الكتلي .

الأيزومر : هي تلك العناصر التي في حالة مثارة وتمتلك نصف عمر طويل نسبياً .

النيوكلونات : هي عبارة عن الدقائق النووية { البروتونات + النيوترونات } .

الميزونات : هي جسيمات لها خواص فيزيائية وتقع كتلتها بين كتلة الإلكترون و البروتون , ومن أنواعها ميزونات μ و ميزونات π .

البوزيترون : هو جسيم مضاد للإلكترون ويحمل نفس خواص الإلكترون ولكنه موجب الشحنة .

الفوتون : هو وحدة كمية في الإشعاع الكهرومغناطيسي و يظهر على شكل ضوء أو أشعة X أو أشعة γ .

3.I. الوحدات المستعلة في الفيزياء النووية

نستعمل في الفيزياء وحدات النظام الدولي، أما في الفيزياء النووية فنستعمل وحدات خاصة :

-**لقياس المسافة** نستعمل وحدة فارمي بحيث

$$1F = 1 \text{ Fermi} = 10^{-13} \text{ cm} = 10^{-15} \text{ m}$$

أما المساحة فتقاس بوحدة البارن (barn)

$$1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$$

وحدة الكتلة الذرية (a.m.u.)

تستخدم لقياس كتل الأنوية وتساوي كتلة ذرة الهيدروجين، وهي تساوي 12/1 من كتلة ذرة الكربون.

بما أن الوزن الذري للهيدروجين يساوي واحد وبما أن الوزن الذري للعنصر يحتوي على عدد أفوجادرو من الذرات إذا:

$$1 \text{ gram contain } 6.203 \times 10^{23} \text{ atom}$$

إذا وزن ذرة الهيدروجين = $1/6.203x10^{23}$

$= 1.661x10^{-24}$ g = a.m.u.

- **وحدة الطاقة الذرية Electron Volt (ev):** وهي تستخدم لقياس الطاقة.

1 ev = $1.6x10^{-19}$ Joul

Kilo ev (Kev) = 10^3 ev = $1.6x10^{-16}$ Joul

Million ev (Mev) = 10^6 ev = $1.6x10^{-13}$ Joul

وحيث أن الطاقة = الوزن x سرعة الضوء أي : $E = m \times C^2$

1 a.m.u. = 931 Mev/C^2

I.4. الخواص الأساسية للنواة

تنقسم الخواص الأساسية للنواة إلى صنفين: خواص لا تعتمد على الزمن مثل الكتلة الشحنة الحجم الكثافة و العزم الزاوي و خواص تعتمد على الزمن كالانحلال الإشعاعي الطبيعي أو التفاعل النووي.

I.4.1. كتلة النواة و شحنتها

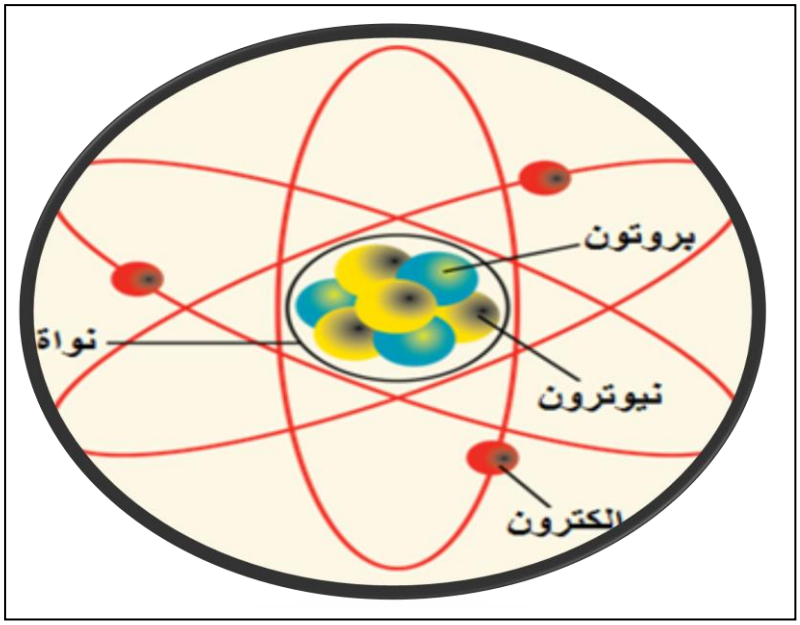
تتركب النواة من بروتونات *[p]* موجبة الشحنة ونيوترونات *[n]*متعادلة الشحنة(الشكل (I.1)). وقد أطلق على هذه الجسيمات نيوكليوتيدات وتبلغ كتلتي هذين الجسيمين :

$$m_p = 1.673 \times 10^{-27} Kg = 1.0072 amu$$
$$m_n = 1.675 \times 10^{-27} Kg = 1.0087 amu$$

و الجدير بالذكر أن لكل ذرة عدد ذري Z يحدد عدد البروتونات و العدد الكتلي Aويحدد عدد النيوترونات N و رمز العنصر كالتالي : ${}^{A}_{Z}X_{N}$

و النواة تحمل الشحنة الموجبة أما كتلتها فهي عبارة عن مجموع كتل البروتونات و النيوترونات كما هو مبين في المعادلة التالية:

$$M = Zm_p + Nm_n \quad .....(I.1)$$



الشكل I.1. مكونات النواة

مثال : وحدة الكتل الذرية تمثل $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة الكربون $^{12}_{6}C$.

1. أحسب قيمة $1u$ ب Kg

2. كتلة نواة الكلور $^{35}_{17}Cl$ تساوي $m_{^{35}_{17}Cl} = 34,956u$ عبر عن كتلتها ب Kg

3. عبر عن $1eV$ وعن $1MeV$ بالجول J.

الحل :

1.

$$1u = \frac{1}{12} m_{^{12}_{6}C}$$
$$= \frac{1}{12} \cdot \frac{M}{N_a}$$
$$= \frac{1}{12} \cdot \frac{12 \,.\, 10^{-3}}{6.02 \,.\, 10^{23}}$$

$$1u = 1.66 \,.\, 10^{-27} \; kg$$

2. كتلة نواة الكلور :

$$m = 34,956 \,.\, 1,66 \,.\, 10^{-27}$$
$$m = 5,8 \,.\, 10^{-26} \; kg$$

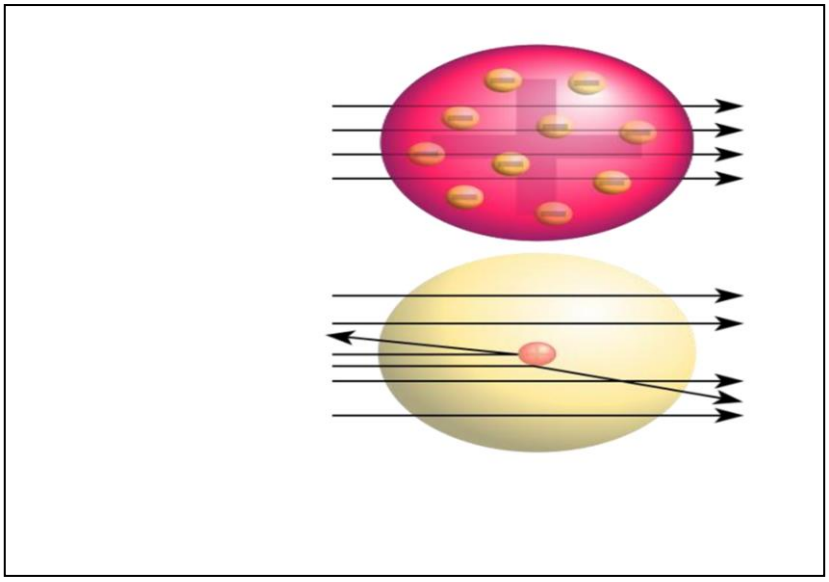
3. تحويل من $1eV$ إلى الجول J ومن $1MeV$ إلى $1eV$ و J

$$1eV = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1$$
$$1eV = 1,6 \cdot 10^{-13} J$$
$$1MeV = 10^{6} eV$$
$$= 10^{6} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$$

$$1MeV = 1,6 \cdot 10^{-13} J$$

I.2.4. نصف القطر و الكثافة النووية

كما هو الحال لنصف قطر الذرة فأن نصف قطر النواة النووي كمية غير معروفة تعريفا حقيقيا.أي تجربة نووية يحدث فيها تفاعل بين نواتين تظهر في مجال التفاعل القوى النووية مجال عمل القوى النووية يعطي قياس لنصف القطر النووي واحد هذه التجارب والتفاعلات النووية التي تستخدم لقياس نصف القطر النووي هي تجربة التشتت لجسيمات الفا عن الهدف النووي(رقائق الفضةAg) كما موضح بالشكل ادناه



الشكل I.2 تجربة راذرفورد لقياس حجم النواة

في التصادم الراسي نلاحظ أن الجسيمة الأولى تنحرف مبتعدة عن النواة أما إذا زادت طاقة ألفا فإنها سوف تقترب من جدار النواة و الطاقة الكامنة تساوي

$$E_p = \frac{kq_1q_2}{r} \quad .....(I.2)$$

بحيث $(q_1=2e)$هي شحنة جسيم الفا $(q_2=Ze)$ شحنة النواة المستطيرة نحصل على

$$E_p = \frac{(2e)(Ze)}{r} \quad .....(I.3)$$

r اقصر مسافة تصلها جسيمات الفا عند سطح النواة تحسب من العلاقة التالية :

$$r = \frac{Ze^2}{E_p} \quad .....(I.4)$$

مثال: جسيم ألفا طاقته 25Mev يسقط على نواة اليورانيوم جد اقرب مسافة يصلها الجسيم قبل أن

مثال:

جسيم الفا طاقته 25Mev يسقط على نواة اليورانيوم جد اقرب مسافة يصلها الجسيم قبل ان تبدا تاثيرات القوة النووية .

الحل :

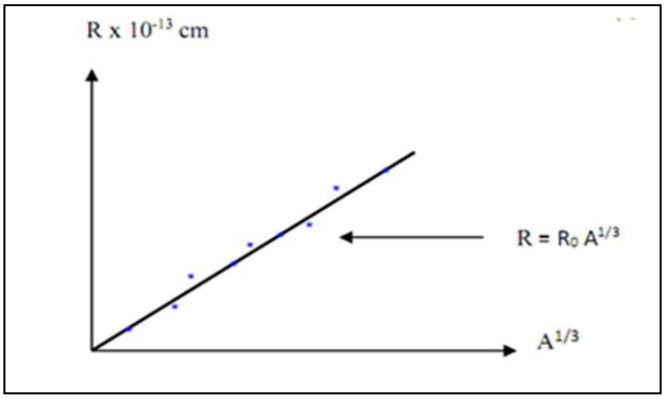
$$r = \frac{2Ze^2}{E_p} = \frac{2\times 92(4.8\times 10^{-10})^2}{25\times 1.6\times 10^{-6}} = 10^{-12}cm = 10F$$

من التجارب العديدة ثبت ان حجم النواة يتناسب طرديا مع عدد الجسيمات المكونة للنواة أى مع عدد الكتلة A ومنها يكون نصف قطر النواة على الصورة التالية :

$$R = R_0 A^{1/3} \quad .....(I.5)$$

R_0 يسمى ثابت نصف القطر

الشكل (I.3) يوضح العلاقة الناتجة عن هذه التجارب و هو أفضل تقريب لنصف قطر النواة يمكن التعبير عنه بالمعادلة التي اشتقت كأفضل خط مستقيم مرسوم لهذه النتائج



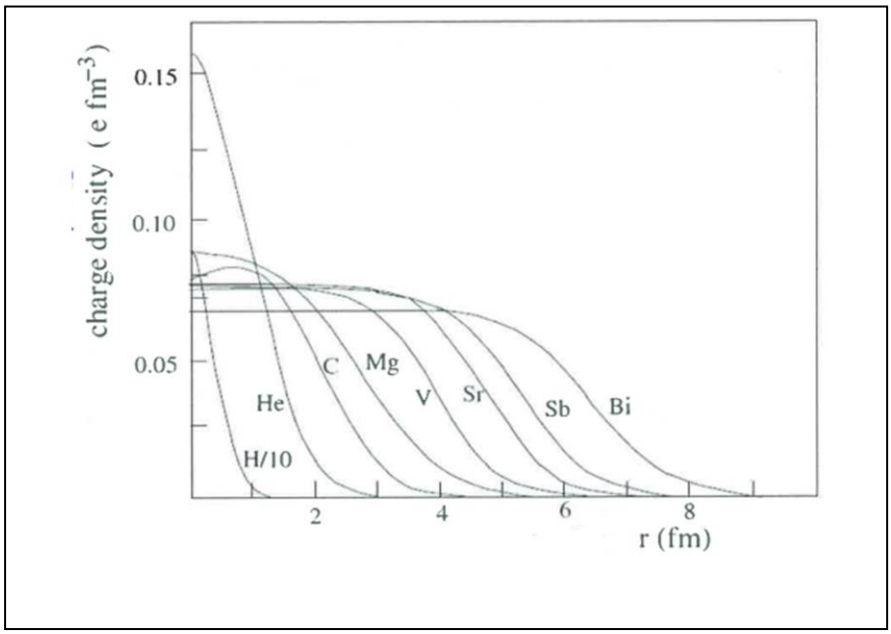
الشكل I.3. العلاقة بين نصف القطر والعدد الكتلي

و تعتمد قيمة ثابت نصف القطر على نوع الجسيم المستخدم للاستطارة في التجربة حيث تكون (R_0=1.2) عند استطارة الالكترونات بواسطة النوى (R_0=1.4) عند استطارة الجسيمات المشحونة الثقيلة بواسطة النوى، وبما أن الالكترونات أفضل مقياس من الجسيمات الثقيلة لإعطائها معلومات أدق لذا تم الاعتماد (R_0=1.2) في حل مسائل الفصل.

إن كثافة النيوكليونات (كثافة المادة النووية) ثابتة نسبيا على مسافات قصيرة من مركز النواة تهبط بعدها حتى تصل إلى الصفر عند سطحها و لهذا السبب يمكن وصف شكل النواة بعاملين :

1- معدل نصف القطر الذي تساوي عنده كثافة المادة النووية نصف قيمتها المركزية($\frac{1}{2}\rho_0$).

2- سمك القشرة التي تهبط فيها الكثافة من نهايتها العظمى($90\%\rho_0$) إلى قرب نهايتها الصغرى ($10\%\rho_0$). أظهرت تجارب أكثر دقة لاستطارة الالكترونات من قبل هوفستادتر وآخرون معه (Hofstadter et al.) عام1953 أظهرت أن النواة ليست كروية الشكل وليس لتوزيع الكثافة النووية قطع حاد على بعد يساوي نصف القطر (R) أي ليس هناك قطع حاد على سطحها و المقصود بالكثافة النووية ρ هو عدد النيوكليونات لكل وحدة حجم من النواة كدالة للبعد عن مركز النواة فلو كانت النواة كروية لكانت الكثافة النووية ثابتة المقدار داخل النواة و تساوي صفر خارجها أي لكان لتوزيع الكثافة النووية قطع حاد على سطحها ولكن يمكن تمثيله بصورة تقريبية كما في الشكل:



شكل 4.I يمثل تغير كثافة المادة (الشحنة) النووية عبر النواة

افترض هوفستادتر أن هذه الكثافة تتغير عبر النواة حسب العلاقة التالية:

$$\rho(r) = \frac{\rho_0}{1+\exp(\frac{r-R}{a})} \quad .....(I.6)$$

حيث (ρ_0) تمثل كثافة النيوكليونات (البروتونات والنيوترونات) بالقرب من منتصف النواة وتساوي تقريبا (0.165 nucleon/F^3) ، كذلك فأن (R) تمثل نصف القطر الذي تهبط فيه كثافة النيوكليونات بمعدل (50 ٪) من المنتصف، وان (a) تمثل سمك سطح النواة وتساوي تقريبا (0.55 F).

يمكن حساب سمك القشرة (t) من قيمة الكثافة الكتلية القصوى($90\%\rho_0$) الى قيمة الكثافة الدنيا ($10\%\rho_0$) كما موضح في الشكل (I.4) و بتطبيق المعادلة (I.6):

$$90\%\rho_0 = \frac{\rho_0}{1+\exp(\frac{R-\frac{1}{2}-R}{a})} \quad .....(I.7)$$

$$10\%\rho_0 = \frac{\rho_0}{1+\exp(\frac{R+\frac{1}{2}-R}{a})} \quad .....(I.8)$$

بقسمة المعادلتين(I.7),(I.8) نحصل على :

$$9 = \frac{1+e^{t/2a}}{1+e^{-t/2a}} = \frac{1+e^{t/2a}}{(1+e^{t/2a})/e^{t/2a}}$$

$$9 = e^{t/2a} \Rightarrow \frac{t}{2a} = \ln 9$$

$$t = 4.4a = 4.4\times 0.54 = 2.376\, fm$$

حيث (t) تمثل سمك القشرة التي عندها تقل كثافة المادة النووية تدريجيا حتى تصل إلى الصفر.

<u>مثال1</u> *: احسب نصف قطر نواة* $^{12}_{6}C$

$$R = R_0 A^{1/3}$$

$$R = 1.2\times 10^{-13} A^{1/3} cm$$

$$R = 1.2A^{1/3}F$$

$$R = 1.2(12)^{1/3} = 2.7F$$

<u>مثال 2</u>: *احسب نصف قطر نواة* $^{238}_{92}U$.

من معرفة حجم وكتلة النوى يمكن حساب كثافة المادة النووية، في حالة نواة $^{12}_{6}C$ ذات الكتلة الذرية (12 amu) او (12 u) فأن الكثافة النووية تساوي تقريبا:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{\frac{4}{3}\pi R^3}$$

$$\rho = \frac{12u\ x1.66x10^{-27}\frac{Kg}{u}}{\frac{4}{3}\pi(2.75x10^{-15})^3}$$

$$\rho = 2.29x10^{17}\frac{Kg}{m^3}$$

وهو رقم كبير جدا، وهو ثابت تقريبا لجميع النوى أي أن النواة عبارة عن وسط كثيف جدا وان المادة النووية غير قابلة للانضغاط .

I.3.4. السبين النووي

وضع العلم باولي فرضيته القائلة بان النواة الذرة تدور حول محورها ، وهذا الدوران ناتج عن دوران مكوناتها . حيث تملك البروتونات و النيترونات عزم ذاتيا له نفس العدد الكمي للإلكترون $(1/2)$ و عزم الزاوي

I.3.4.1. العزم الزاوي المداري

تكون قيمته اعداد كاملة كما هو الحال في الفيزياء الذرية و يرمز له بالرمز L اي ان :

$$L = \sqrt{l(l+1)}\hbar \quad .....(I.9)$$

حيت ان االعدد الكمي المداري الدي ياخد القيم التاليه

(الحالة) = S P d f g h I

(/) = 0 1 2 3 4 5 6

و اذا كان اتجاه العزم الزاوي المداري باتجاه محور Z يرمز له L_z اي ان

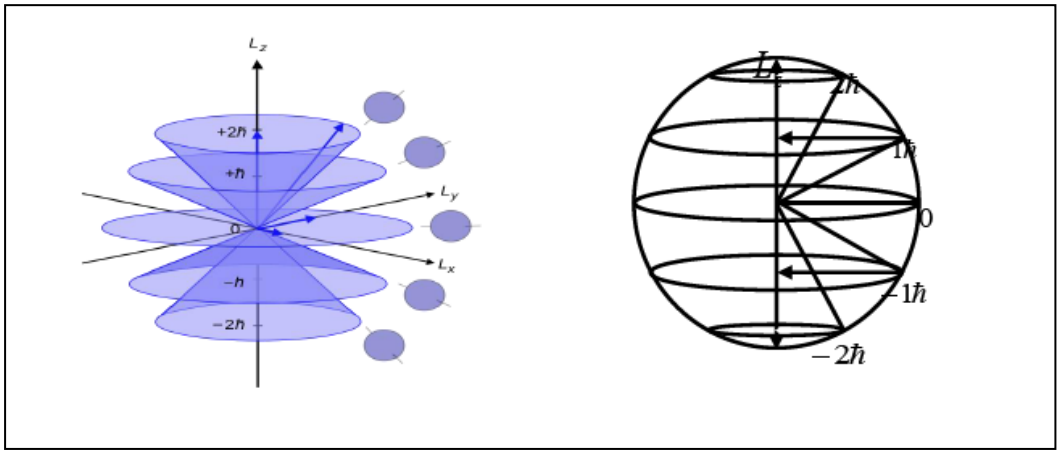
$$L_Z = m_l\hbar \quad .....(I.10)$$

m_l: يسمى العدد الكمي المغناطيسي للعزم الزاوي المداري و قيمته $(m_l = -l ..... + l)$

وعدده يحسب ب (2l +1) و الجدول (I.1) يوضح ذلك

الجدول (I.1) العزم الزاوي ومركباته

العزم الزاوي	عدد مركبات m_l	مركبات m_l
0	0	0
1	3	−1 , 0 , +1
2	5	−2 , −1 , 0 , +1 , +2
3	7	−3 , −2 ,−1 ,0 ,+1 ,+2 ,+3



الشكل I.5 الرسم توضيحي للعزم المداري ومركباته

I.2.3.4 سبين (Spin)

بالإضافة للحركة المدارية سيكون لهذه النيوكليونات داخل النواة حركة مغزلية حول محورها، و التي تسمى بالسبن (spin) و ينتج عنها عزم مغزلي يرمز له بالرمز S و الذي يسمى العزم الذاتي، حيث تمثل قيمة العزم الذاتي بالمعادلة الآتية :

$$S = \sqrt{s(s+1)}\hbar \quad .....(I.11)$$

وان قيمة العدد الكمي للعزم الذاتي للبروتونات و النيوترونات تكون متساوي $s = \frac{1}{2}\hbar$ حيث أن :

$$S = m_s \hbar \quad .....(I.12)$$

m_s يسمى العدد الكمي المغناطيسي العزم الذاتي و ان متجهات العزم الذاتي تتحدد بالعلاقة $(2s+1)$ وله قيمتين $\pm 1/2$ وان قيمة العزم الذاتي

$$S = \sqrt{\frac{1}{2}(\frac{1}{2}+1)}\hbar = \sqrt{\frac{3}{4}}\hbar$$

I.3.4.3 العزم الزاوي الكلي

يمكن تمثيله بالمعادلة الآتية :

$$J = \sqrt{j(j+1)}\hbar \quad .....(I.13)$$

حيث J هو العدد الكمي للعزم الزاوي الكلي و هو عدد كامل للنوى التي يكون عددها الكتلي Aزوجيا , وعدد نصف كامل للنوى التي يكون عددها الكتلي فرديا. وهو ما يوافق التجارب العملية

و اذا كان اتجاه العزم الزاوي الكلي باتجاه محورZ يرمز له J_Z اي ان

$$J_Z = m_j\hbar \quad .....(I.14)$$

m_j: يسمى العدد الكمي المغناطيسي للعزم الزاوي الكلي و قيمته $(m_l = -j.....+j)$

وعدده يحسب ب (2j +1).

مثال: اوجد العزم الكلي للنواة الهيليوم (A= 3 z=2)

N=1

$1S^1$

$$S_N = \frac{1}{2}$$

Z=2

$1S^2$

$$S_Z = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 0$$

$$S = S_Z + S_N = 0 + \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$

$$l = l_Z + l_N = 0$$

$$J = l + s = 0 + \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$

الرمز الطيفي هو : $^2S_{1/2}$

I.5. طاقة الترابط النووي

تسمى هذه الطاقة بالطاقة الرابطة وتعرف على أنها " الفرق بين كتلة النواة الفعلية وكتل مكوناتها مضروبة في مربع سرعة الضوء " ويرمز لها بالرمز E_{tot} وهي الطاقة اللازمة لربط مكونات النواة من البروتونات و النيوترونات وتعطى بالعبارة التالية :

$$E_{tot}(A,Z) = \{ZM_p + NM_n - M(A,Z)\}C^2 \quad .....(I.15)$$

حيث أن :

Z : العدد الذري { عدد البروتونات } .

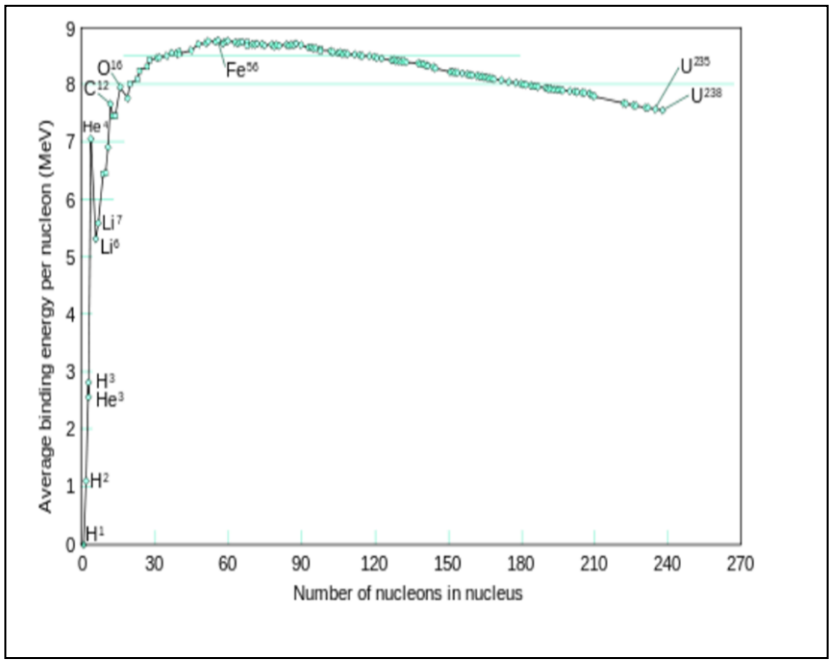
N : عدد النيوترونات , M_p : كتلة البروتون

M_n : كتلة النيوترون

ويمكن تعريف متوسط طاقة الربط لكل دقيقة نووية بالعلاقة :

$$E_{moy}(A,Z)=\frac{E_{tot}(A,Z)}{A} \quad .....(I.16)$$

وعند رسم متوسط طاقة الربط مع عدد الكتلة A نحصل على منحنى كما في الشكل التالي :



الشكل6.I طاقة الربط لكل نواة

ومن هذا الرسم البياني نحصل على عدة ملاحظات واستنتاجات :

1. قيمة E_{moy} لا تعتمد تقريباً على العدد الكتلي { عدد النيوكلونات } ما عدا الأنوية الخفيفة .
2. عند الأنوية الخفيفة $A \le 30$ تتغير E_{moy} بشكل ملحوظ أما عند $A \ge 30$ فإنها ثابتة تقريباً .
3. في منتصف المنحنى نجد أن E_{moy} أعلى ما يمكن عند 8.4 MeV و يبدأ بالانخفاض إلى أن يصل للقيمة 7.4 MeV .
4. نلاحظ أن العناصر بعد النقطة العظمى 8.4 MeV إذا انشطرت فإنها تعطي طاقة , أما العناصر التي قبلها إذا اندمجت فإنها تعطي طاقة .
5. نلاحظ أن نواة الحديد هي النواة الأكثر استقرارا .

مثال : كتلة نواة الهيليوم ^4_2He تساوي $m_{^4_2He} = 4,0015u$.

1- أحسب مجموع كتل الأربع نكليونات المكونة للنواة وهي متفرقة ب u.

2- قارن بين مجموع كتل النكليونات وهي متفرقة بكتلة النواة .

3- نسمي هذا الفرق في الكتلة بالنقص الكتلي و نرمز له ب Δm

- أستنتج تعريفا للنقص الكتلي للنواة .

4- أيمكن للنقص الكتلي أن يكون سالبا

$m_p = 1,00728u$, $m_n = 1,00866u$

الحل :

1- مجموع كتل النكليونات :

$m_{nucléons} = 2.\ 1,00728u + 2.\ 1,00866u = 4,0319u$

2- مجموع كتل النكليونات أكبر من كتلة النواة .

3- النقص الكتلي هو الفرق بين مجموع كتل النكليونات و كتلة النواة .

3- النقص الكتلي موجب دوما .

مثال : في الفيزياء النووية يعبر عن الكتلة بوحدة MeV/c^2.

1- أحسب الطاقة المكافئة ل $1u$ ب J و MeV . - أستنتج أن $1u = 931,5\,MeV/c^2$

2- أحسب طاقة الكتلة لنواة الهيليوم $m_{^4_2He} = 4,0015u$ ب MeV

$1u = 1,660\,540\,2 .10^{-27}\ kg$, $c = 2,997\,924\,58 .10^8\ m/s$, $1MeV = 1,602\,189 .10^{-19}\ J$

الحل:

1-

$E = m . c^2$

$E = 1,660\,540\,2 .10^{-27} . (2,997\,924\,58 .10^8)$

$E = 1,492\,419 .10^{-10}\ J$

$E = 1,492\,419 .10^{-10}\ J$

$E = \dfrac{1,492\,419 .10^{-10}}{1,602\,189 .10^{-13}}$

$E = 931,49\ MeV$

الاستنتاج :

$$E = 1u \cdot c^2$$

$$1u = \frac{E}{c^2}$$

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

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

2- طاقة الكتلة لنواة الهيليوم :

$$E = m \cdot c^2$$

$$E = 4,001\,54\ u \cdot 931,5\ MeV/c^2$$

$$E = 3727,4\ MeV$$

مثال : أثبت أن معدل الطاقة الرابطة $\left\{\frac{E}{A}\right\}$ يساوي تقريباً $7.4MeV$ ؟

الحل :

الطاقة الرابطة تعطى بالعلاقة :

$$E_{tot} = \{ZM_p + NM_n - M(A,Z)\}c^2$$

بقسمة الطرفين على A :

$$\frac{E_{tot}}{A} = \{ZM_p + NM_n - M(A,Z)\}\frac{c^2}{A}$$

بأخذ العامل المشترك :

$$\frac{E}{A} = \{ZM_p + NM_n + ZM_n - ZM_n - M(A,Z)\}\frac{c^2}{A}$$

$$= [Z(M_p - M_n) + (Z+N)M_n - M(A,Z)]\frac{c^2}{A}$$

$$But\{M_p - M_n \approx 0\} and \{Z + N = A\}$$

$$\therefore \frac{E}{A} = [AM_n - M(A,Z)]\frac{c^2}{A}$$

$$= \left[M_n - \frac{M(A,Z)}{A}\right]c^2$$

$$But\left\{\frac{M}{A}\right\} \approx 1amu$$

$$\therefore \frac{E}{A} = [M_n - 1(amu)]c^2$$

$$M_n = 1.008amu$$

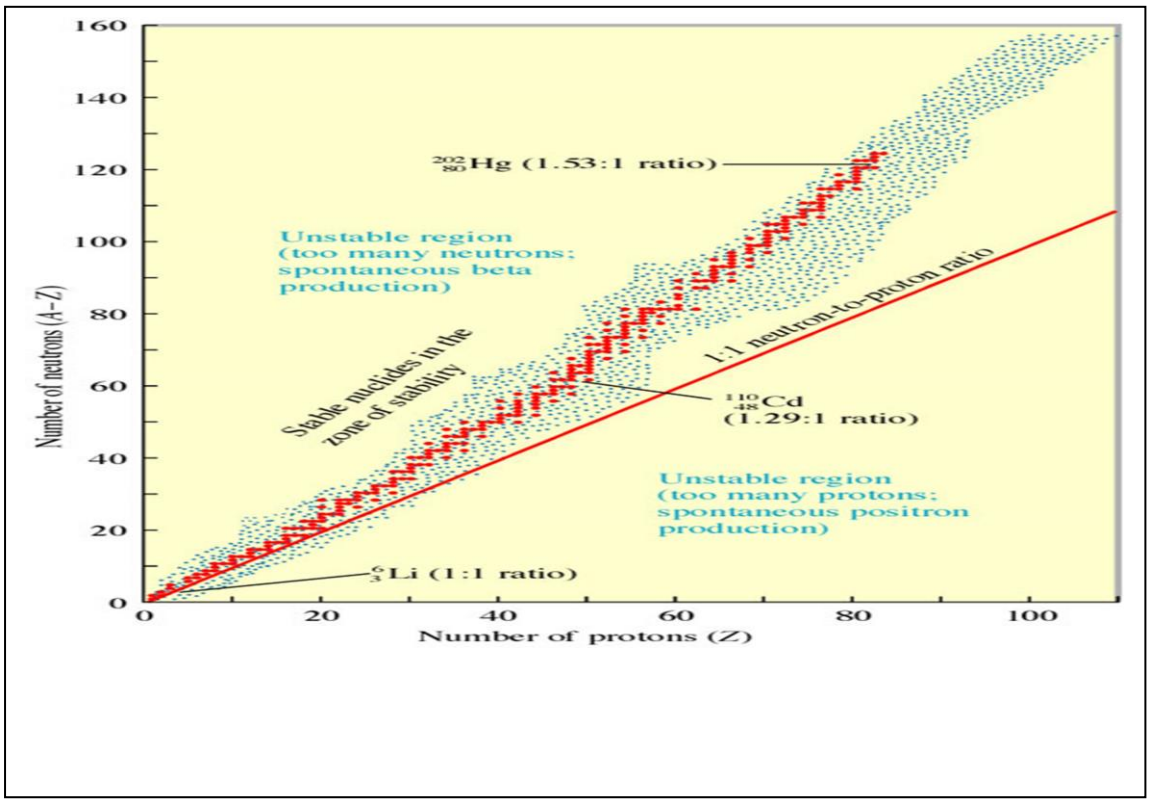
$$\therefore \frac{E}{A} = (1.008 - 1)c^2 \approx 7.4MeV$$

I .6.استقرار النواة

يبلغ عدد الأنوية الموجودة في الطبيعة 1000 نظير منها ما هو مشع أو مستقر ونقصد بالمشع أن النظير في حالة تحول لنظير آخر محاولاً الاستقرار وذلك بالوصول إلى أن تكون واقعة داخل المستقيم المبين في الشكل الذي يتراوح ميله ما بين 1 إلى 1.6 .

أما الأنوية المستقرة هي التي لا تشع أشعة كهرومغناطيسية أو تخرج جسيمات من داخلها أو تمتص إلكترونات من خارجها إلى داخلها .

يوضح المنحنى التالي العلاقة ما بين عدد النيوترونات و عدد البروتونات في النظائر :



الشكل I.7 مخطط النيوترون – بروتون لاستقرار النوى

I.7. طاقة الفصل

تعرف طاقة الفصل S على أنها " الطاقة اللازم لفصل دقيقة نووية من مكونات النواة عن النواة " ويمكن حساب طاقة الفصل النووي لكل من النيترونات و البروتونات وجسيمات ألفا.

$$S_p = \left[M(A-1,Z-1) + M_p - M(A,Z)\right]C^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (I.17)$$

$$S_n = \left[M(A-1,Z) + M_n - M(A,Z)\right]C^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (I.18)$$

$$S_\alpha = \left[M(A-4,Z-2) + M_\alpha - M(A,Z)\right]C^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (I.19)$$

وهي عبارة عن الفرق بين الطاقة الرابطة للنواة الأساسية $E(A,Z)$ والطاقة الرابطة للنواة الناتجة $E(A-1,Z)$ ، و الطاقة الرابطة للجزء المتحرر من النواة فمثلاً :

بالنسبة للنيوترون :

$$S_n = E(A,Z) - E(A-1,Z) \quad \ldots\ldots(I.20)$$

أما بالنسبة للبروتون :

$$S_n = E(A,Z) - E(A-1,Z-1) \quad \ldots\ldots(I.21)$$

أما بالنسبة لجسيمات α :

$$S_\alpha = E(A,Z) - E(A-4,Z-2) - B_\alpha(4,2) \quad \ldots\ldots(I.22)$$

مثال : احسب الطاقة اللازمة لفصل أخر نيوترون من نواة $\left[C_6^{13}\right]$ ؟

الحل :

من السابق طاقة الفصل للنيوترون :

$$S_n = E(A,Z) - E(A-1,Z)$$

$$= \{ZM_p + NM_n - M(A,Z)\} - \{ZM_p + (N-1)M_n - M(A-1,Z)\}c^2$$

$$= \{ZM_p + NM_n - M(A,Z) - ZM_p + \boxed{(N-1)M_n} + M(A-1,Z)\}\, c^2$$

$$\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad - NM_n + M_n$$

$$S_n = [M(A,Z) + M_n - M(A-1,Z)]$$

$$M(A,Z) = C_6^{13} = 13.003$$

$$M(A-1,Z) = C_6^{12} = 12$$

$$M_n = 1.008$$

$$\therefore S_n = [13.003 + 1.008 - 12]c^2$$

$$= 4.7MeV$$

مثال : *اوجد الطاقة اللازمة لفصل نيوترون من نواة* $^{40}_{20}Ca$ *بوحدة (Mev) علما أن كتلة ذرة الكالسيوم* $^{39}_{20}Ca$ *تساوي* $38.970691\ u$ *وكتلة النيوترون* $1.008665\ u$ *و كتلة ذرة* $^{40}_{20}Ca$ *تساوي* $39.962589\ u$

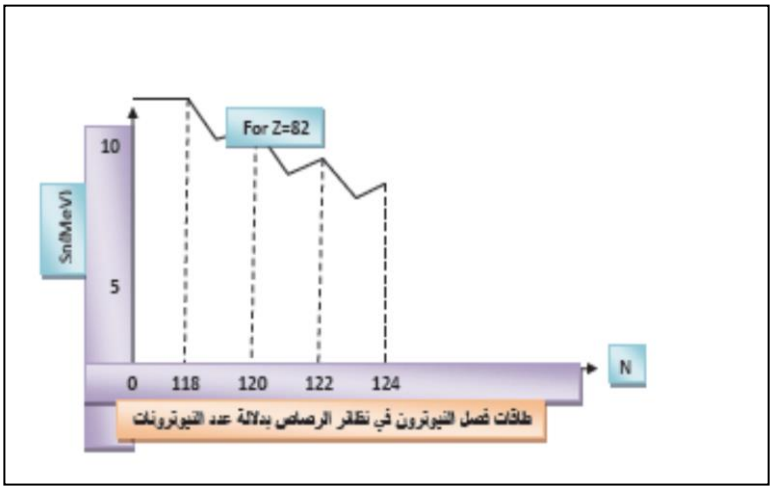
I.8. نظاميات طاقة الفصل

إن النظاميات المثالية لطاقات فصل النيوترون كدالة لعدد النيوترونات و الموضحة في الشكل (I.8) حيث انه لقيمة معينة من العدد الذري Z لنواة تكون طاقة الفصل S_n اكبر في النوى التي تكون فيها N زوجية مما عليه في النوى التي تكون فيها N فردية، و أن طاقة الفصل تقل بازدياد عدد النيوترونات و كذلك لقيمة معينة لعدد النيوترونات N فان S_p تكون اكبر في النوى التي فيها Z زوجية مما هي عليه في النوى التي تكون فيها Z فردية .

أن هذا الناتج عن إحدى خواص القوى النووية التي ينتج عنها ارتباط إضافي بين كل زوج من النيوكليونات المتشابهة (p, p) (n,n) الموجودة في الحالة نفسها و التي يكون لها عزوم زاوية كلية تعمل من اتجاهين متعاكسين ويسمى بتأثير الازدواج وهذا هو أيضا السبب في الاستقرار العالي لتركيب جسيمات ألفا.

$$S_n(A,Z,evenN) - S_n(A-1,Z,N-1)$$

تسمى طاقة ازدواج النيترون و تتراوح قيمتها بين 2 إلى 4Mev مع زيادة قيمة A وتظهر قيم مشابهة لذلك بالنسبة للبروتونات أن الازدواج يؤدي إلى آن تكون النوى الزوجية – الزوجية أكثر استقرار ووفرة من النوى الزوجية – الفردية و النوى الفردية – الزوجية (Z فردي –N زوجي) و هذه بدورها أكثر استقرارا من النوى الفردية – الفردية و هذا يتضح أيضا من ملاحظة نظاميات الوفرة الطبيعية للنوى المستقرة.



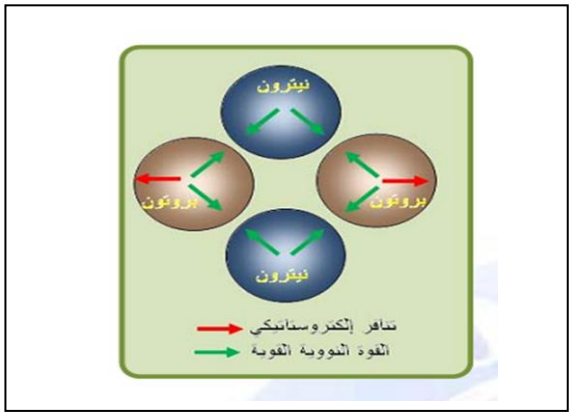
الشكل I.8 طاقات فصل النيوترون في نظائر الرصاص بدالة العدد النيوترونات

إن من بين 1400 نظير الموجود في الطبيعة هنالك ما يقارب ب 280 نظير مستقر و أكثر من160 نوية (زوجية – زوجية) وهناك حوالي 49 نوية زوجية –فردية و 53 نوية فردية –زوجية

I.9. القوى النووية

I.9.1. طبيعة القوّة النوويّة

يوجد في الطبيعة عددٌ من القوى الأساسيّة والمعروفة لدينا كقوى الكهرومغناطيسيّة وقوى الجذب والقوى الضعيفة، إضافةً لهذه القوى فإنها توجد عددٌ من القوى الأخرى المهمة جداً والجديدة، وتعرف باسم القوّة النوويّة، وهي المسؤولة عن ربط مكوّنات النواة ببعضها البعض، وقد تمّ إجراء العديد من المحاولات لفهم المجال النووي أو القوّة النوويّة وذلك إبّان ظهور فرضيّة احتواء النواة على النيوترونات والبروتونات – فرضيّة النيوترون بروتون – حيث كان السؤال المطروح في ذلك الوقت هو كيفيّة ترابط البروتونات والنيوترونات مع بعضها البعض داخل النواة.



الشكل I.9 القوي النووية

و أهم خصائص القوى النووية المعروفة هي:

1. القوى النووية هي قوى تجاذب شديدة بين نيوكليونين داخل النواة
2. القوة النووية تعتمد على اتجاه دوران للنوكليونات
3. القوى النووية ذات مدى قصير جدا تكون هذه القوى ذات فعاليه كبيره جدا عندما تكون المسافة الفاصلة بين النويات صغيره جدا (لا تزيد عن 3أو2 فيرمى) $1F=10^{-15}cm$ فقوه الجذب النووي بين زوج من البروتونات تفصل بينهما مسافة 3,12 فيرمى أكبر بمائه مره من قوه التنافر الكهربائي بينهما . ولكن تتناقص القوى النووية بصوره سريعة جدا مع زيادة المسافة التي تفصل بين النويات بينما تتناقص القوى الكهربائية بصوره بطيئة نسبيا . وتنعدم القوى النووية بين البروتونين عندما تكون المسافة بينهما

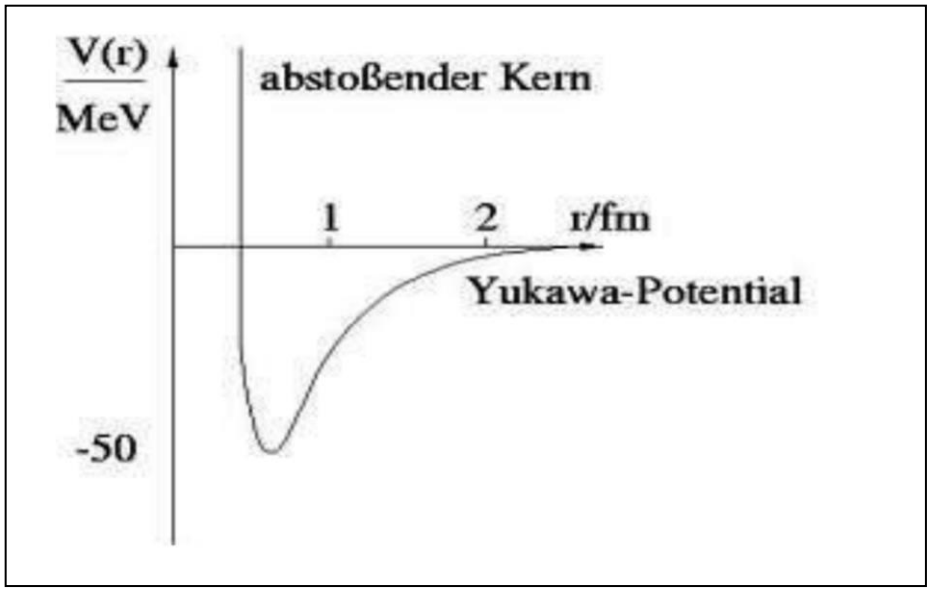
حوالي 10 فيرمى وتصبح القوى المؤثرة عليها على هذه المسافة هي قوى التنافر الكهربائية فقط وتسبب هذه الخاصية عدم استقرار بعض النوى الثقيلة مثل اليورانيوم والتي تحتوي على كبير من البروتونات إن زيادة عدد البروتونات داخل النواة بعد حد معين يؤدي لزيادة قوى التنافر الكهربائية أكثر مما يزيد من قوى التجاذب النووي وذلك لان البروتونات البعيدة عن مركز النواة تتجاذب من خلال القوى النووية مع عدد قليل من النويات المجاورة

4. القوة النووية مشبعة، عندما نتكلم عن إشباع القوة النووية، نقصد بان النوية الواحدة داخل النواة يمكنها أن تتعامل (interaction) بقوة فقط مع عدد محدد من النويات المحيطة بها. وللتعرف على هذا نعود إلى شكل (منحنى الاستقرار) الذي يربط بين معدل طاقة الربط النووية والعدد ألكتلي A حيث يمكننا القول بان معدل طاقة الربط النووية هي (8 (Mev/nucleon ومن هذا نستنتج أن معدل طاقة الربط النووية تساوي كمية ثابتة وهذا يعني ان القوة النووية مشبعة.

5. القوة النووية التي تربط بين النويات داخل النواة لا تعتمد على الشحنة ولا على نوع النوية. أي بمعنى آخر أن القوة النووية التي تربط بين بروتونين (p–p) أو نيوتروني (n–n) أو بروتون ونيوترون (n–p) متساوية أي عدم اعتماد القوة النووية على الشحنة إطلاقاً.

I.2.9. تفسير القوة النووية

جميع القوى اشتقت من نظرية المجال الكمي، حيث فسرت هذه النظرية كل من القوة الكهرومغناطيسية و قوة الجذب معتمدة على التبادل جسيمة أطلق عليها (جسيم المجال) . فكان الفوتون في الحالة الاولى و الجذب في الحالة الثانية يشبه الفوتون له كتلة صفر وينتقل بسرعة الضوء . آما في حالة القوى النووية كذلك اشتقت من نظرية المجال، حيث اقترح العالم الياباني H. Yukawa في عام 1935 بان النويات مربوطة في النواة بمجال يكون محمولا بواسطة كم بنفس الطريقة التي فيها المجال الكهربائي محمولا بواسطة الفوتون و بما أن المسافة صغيرة بين النويات لذا فان الفوتون المقترح يكون له طول موجي قصير ناتج عن طاقة العالية. لذا افترض باكاوا بان المجال يكون محمولا بواسطة كم .لذا فان العالم افترض وجود جسيمة خيالية كتلتها 200 اكثر بقدر كتلة الإلكترون و أيضا افترض هذا الجسيم بثلاث صور $(\Pi^{o}, \Pi^{-1}, \Pi^{+1})$و أطلق عليها اسم البايون و أن الكتلة السكونية له تساوي (139.6, 139.6, 135) amu على التوالي.



الشكل I.10 تغيرات الكمون بدلالة النصف القطر

I.10. العزوم النووية

ينتج توزيع الشحنات و التيارات الكهربائية عزوما كهربائية و مغناطيسية متعددة القطبية تحدد بواسطة 2^L.

- L=0 أي أن الحركة المدارية تساوي صفر فان $(2^0 = 1)$ و هذا يعني أن المجال الكهربائي أحادي القطبية.
- L=1 أي أن الحركة المدارية للشحنة الكهربائية في مدارات مغلقة ينتج عنها مجال مغناطيسي ثنائي القطبية .
- L=2 ينتج العزم الكهربائي رباعي القطب وهكذا.

I.10.1.العزوم الكهربائية

I.10.1.1 عزم ثنائي القطب الكهربائي

في الفيزياء ، عزم ثنائي القطب الكهربائي هو مقياس لفصل الشحنات الكهربية الإيجابية والسلبية في نظام الرسوم ، التي هي ، على قدر من نظام القطبية شحنه الشاملة .في حالة بسيطة من الشحنات نقطتين ، واحدة مع المسؤول q + واحد مع ف q− شحنه ، عزم ثنائي القطب الكهربائي p هو :

$$P = qd \quad \ldots\ldots\ldots\

عزم ثنائي القطب يعتمد على المسافة بين القطبين وعلى شدة القطب. كما أن ثنائي الأقطاب له مجال وهذا المجال أو الحقل هو النطاق الذي يؤثر فيه على ما حوله. ويضعف المجال بزيادة البعد عن الأقطاب

2.1.10.I .رباعي أقطاب كهربي

ان العزم الكهربائي رباعي الاقطاب هو مقياس لمدي انحراف النواة من التماثل الكروي.

ليكن توزيع شحني ركيزته الحجم V الملاحظ في معلم ساكن .

الطاقة المكتسبة للنواة من جراء تفاعلها مع الكمون الخارجي

$$E = \iiint V\rho dv \quad \ldots\ldots(I.24)$$

$$dq = \rho dv$$

حيث Vيمثل الكمون الكهروستاتيكي .

و بما انحجم النواة صغير جدا فاننا نستعمل نشر تايلور

$$E = V_0 \iiint dq + \frac{\partial V}{\partial x}\Big|_0 \iiint x dq + \frac{\partial V}{\partial y}\Big|_0 \iiint y dq + \frac{\partial V}{\partial z}\Big|_0 \iiint z dq + \left[\frac{1}{2}\left\{\left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}\right)_{|0} \iiint x^2 dq\right.\right.$$

$$\left. + \left(\frac{\partial^2 V}{\partial y^2}\right)_{|0} \iiint y^2 dq + \left(\frac{\partial^2 V}{\partial z^2}\right)_{|0} \iiint z^2 dq \right\} + \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x \partial y}\right)_{|0} \iiint xy dq + \left(\frac{\partial^2 V}{\partial y \partial z}\right)_{|0} \iiint yz dq$$

$$+ \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x \partial z}\right)_{|0} \iiint xz dq + \ldots\ldots\ldots\

عزم رباعي الأقطاب يعطى بالعبارة التالية :

$$Q_z = \frac{1}{e}\iiint \left(3z^2 - r^2\right)\rho dv \quad .....(I.28)$$

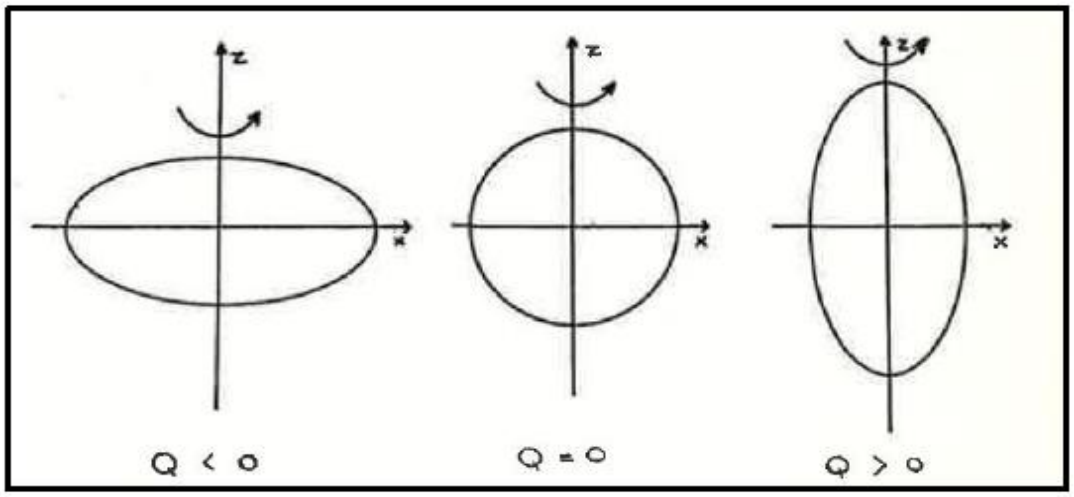
بمان نواة اهليجية الشكل محاورها (a, b) وبعد حسابات بسيطة نجد

$$Q_z = \frac{2}{5}\left(b^2 - a^2\right) \quad .....(I.29)$$

a>b : عندما تتوزع الشحنة بشكل بيضاوي مفلطح (oblate ellipsoïde) فان Q<0

a<b : عندما تتوزع الشحنة بشكل بيضاوي مستطول (prolate ellipsoïde) فان Q>0

a=b : عندما تتوزع الشحنة بشكل متماثل اي كروي تماما (sphéroïde) فان Q=0 (الشكل)



الشكل I.11 شكل النواة تبعا للعزم الكهربائي رباعي الاقطاب

I.10.2.العزوم المغناطيسية المتعددة الاقطاب (الثنائية)

إن حركة النيكليونات داخل النواة تولد توزيع مغناطيسية نووي تسمى مغناطيسية مدارية ولهذه المغناطيسية المدارية نضيف مغناطيسية السبين المرتبطة بكون النيكليونات لها عزم زاوي ذاتي .

I.10.2.1. العزم المغناطيسي المداري

وان العزم المغناطيسي الذي يولده تيار كهربائي مقداره (I) في حلقة نصف قطرها (r) يساوي حاصل ضرب قيمة التيار في مساحة الدائرة (S) أي إن :-

$$\vec{\mu} = iS\vec{n} \quad .....(I.30)$$

إن قيمة التيار الكهربائي الناشئ عن دوران جسيم شحنته q وكتلته m يعطى بالعبارة التالية :

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{q}{2\pi r} v \quad .....(I.31)$$

وبالتعويض عن كل من قيمة (i , S) في المعادلة الأولى ينتج :-

$$\overrightarrow{\mu_l} = \frac{qvr}{2}\vec{n} = \frac{q}{2m}\vec{L} \quad .....(I.32)$$

$$\vec{L} = mrv\vec{n} \quad .....(I.33)$$

I.10.2.2.العزم المغناطيسي الذاتي

اذا كان الجسيم (m ,q) ليس نقطيا أي أن له امتداد فضائي فان العزم الزاوي الكلي يتكون من مركبتين :

$$\overrightarrow{L_{tot}} = \vec{L} + \overrightarrow{L_i} \quad .....(I.34)$$

$\vec{L}$ العزم الزاوي المداري

$\vec{L}_i$ العزم الزاوي الذاتي الناتج عن الحركة الدورانية

$$\vec{\mu}_{tot} = \frac{q}{2m}\vec{L}_{tot} \quad .....(I.35)$$

$$\vec{\mu}_{tot} = \frac{q}{2m}(\vec{L} + \vec{L}_i)$$

$$\vec{\mu}_{tot} = \vec{\mu} + \overrightarrow{\mu_i} \quad .....(I.36)$$

$\vec{\mu}_i$ العزم الثنائي المغناطيسي الذاتي

I.10.3.2.العزوم الثنائية المغناطيسية الجزئية للإلكترونات و النيوكليونات

تعطى العزوم المغناطيسية المدارية و السبين بالعلاقات التالية

$$\vec{\mu}_l = g_l \frac{e}{2m}\vec{l} \quad .....(I.37)$$

$$\vec{\mu}_s = g_s \frac{e}{2m} \vec{s} \quad .....(I.38)$$

g_s , g_l تسمى بمعاملات لاندي (Landé)

معامل لاندي أو **معامل مغناطيسي دوراني** في الفيزياء الذرية (gyromagnetic factor) يعطي مقدار تأثير العزم المغزلي لجسيم (إلكترون) على طاقته بالنسبة لتأثير الزخم الزاوي لمداره عليها ، وذلك عند تواجد الجسيم في مجال مغناطيسي خارجي.

- **مغنطون بور (Bohr magneton)**

ورمزه μ_Bهو ثابت فيزيائي وهو كما يوحي اسمه يتعلق بالمغناطيسية. يعبر مغنطون بور عن عزم الإلكترون المغناطيسي . electron magnetic dipole moment وقد حُدد مغنطون بور طبقا نظام الوحدات الدولي كالتالي:

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} \quad .....(I.39)$$

جدول (2.I) قيم مغنطون بور

النظام	القيمة	الوحدة
eV	$5,78838117555.10^{-5}$	eV/T
GGS	$9,274009115.10^{-21}$	eO^{-1}
SI	$9,274009115.10^{-24}$	J/T

مغنطون نووي (nuclear magneton) هو ثابت فيزيائي ينتسب إلى العزم المغناطيسي لنواة الذرة .

تعود التسمية مغنطون إلى كلمة "مغناطيس " ويراد بها التعبير عن مغناطيسية النواة ، ويرمز للمغنطون النووي بالرمز

يعرف المغنطون النووي بالمعادلة :

$$\mu_N = \frac{e\hbar}{2m_p} \quad .....(I.40)$$

حيث :

e: شحنة أولية

h: ثابت بلانك المخفض

m_p: كتلة السكون للبروتون

يبلغ ثابت المغنطون النووي بوحدات نظام الوحدات الدولي SI: $5.05078324 \times 10^{-27} J/T$

و**المغنطون النووي** هو الوحدة الطبيعية للتعبير عن العزم المغناطيسي لأي جسيم أولي ثقيل مثل نوكليونات(وهي مكونات النواة من بروتونات ونيوترونات)وأنوية الذرات .

مقدار مغنطون بور أكبر من المغنطون النووي نظرا إلى النسبة بين شحنة الإلكترون وكتلته أكبر بكثير عنها بالنسبة إلى البروتون .

تعطى العزوم المغناطيسية المدارية و السبين بدلالة المغنطون النووي بالعلاقات التالية

$$\vec{\mu}_l = g_l \frac{\mu_N}{\hbar} \vec{l} \quad \ldots\ldots(I.41)$$

$$g_l = 1 \; for \; proton$$

$$g_l = 0 \; for \; neutron$$

$$\vec{\mu}_s = g_s \frac{\mu_N}{\hbar} \vec{s} \quad \ldots\ldots(I.42)$$

$$g_s^P = 5.5855$$

$$g_s^n = -3.82629$$

عزم مغناطيسي البروتون (proton magnetic moment):

نظرا لأن البروتون له شحنة كهربائية ويدور حول محوره فيما يسمى عزم مغزلي فإن له أيضا عزم مغناطيسي . أي أن البروتون يتصرف في وجود مجال مغناطيسي خارجي تصرف مغناطيس صغير ثنائي القطب . اكتشف العزم المغناطيسي للبروتون العالم الفيزيائي الألماني أوتو شترن .

ويرمز للعزم المغناطيسي للبروتون بالرمز μ_p

تعطي لجنة بيانات العلوم والتكنولوجيا قيمة العزم المغناطيسي للبروتون :

$$\mu_p = 1{,}410606662.10^{-26} J/T$$

وعلاقته بالمغنطون النووي كالآتي :

$$\mu_p = 2{,}79284739\mu_N$$

حيث أنه دالة حاصل ضرب معامل لاندي في المغنطون النووي مقسوما على 2 :

$$\mu_p = g_p\mu_N \big/ 2 \quad \ldots\ldots\ldots\

القيم المقاسة للعزوم الثنائية المدارية μ_l^p و μ_l^n تعطى ب

$$\mu_l^n = 0 \qquad \mu_l^p = \sqrt{l(l+1)}\mu_N$$

- **التماثل و التناظر (Parity and Symmetry)**

إن التماثل هو خاصية الدالة الموجبة التي تصف المجموعات الكمية و يعرف بالرمز (π).إذا كانت إشارتها لا تتغير عند انعكاسها من نقطة الأصل و تماثل سالب إذا تغيرت إشارتها و يمكن تمثيل ذلك بالمعادلة الآتية :

تماثل موجب $\psi(x,y,z) = \psi(-x,-y,-z)$

تماثل سالب $\psi(x,y,z) = -\psi(-x,-y,-z)$

إن دالة الموجة لعدد من الجسيمات يمكن كتابتها على أنها حاصل ضرب دوال موجات الجسيمات المنفردة توصف حالة النواة بالزخم الزاوي و التماثل الذي يكون إما سالبا أو موجبا و بما أن الزخم الزاوي يمثل بالرمز (J) فان التماثل يكتب أعلى يمين الرمز أي (J^{π}) ويمكن معرفة تماثل النواة من المعادلة الاتية :

$$\pi = (-1)^l \qquad (I.44)$$

حيث (l) العزم الزاوي المداري

I .11.النماذج النووية

في غياب المعلومات المفصلة حول القوة النووية فان وصف طبيعة وتركيب النواة في إطار النماذج التي تحاول تفسير الظواهر التي لوحظت في النوى ولحد الآن لا توجد نماذج شاملة و دقيقة لوصف التركيب النووي و القوة النووية و من الجدير بالذكر أن هناك العديد من هذه النماذج منها :

نموذج قطرة السائلة، نموذج القشرة، نموذج التشوه الحركي، النماذج التجميعية..... و توجد نماذج عديدة لا مجال لذكرها و لكل من هذه النماذج نجاحا في بعض الجوانب و إخفاقا في جوانب أخرى و سوف نتكلم عن النموذجين الأوليين لأنهما أكثر النماذج نجاحا في تفسير الكثير من الخواص النووية نموذج القطرة السائلة و نموذج الطبقات .

I.1.11. نموذج قطرة السائل للنواة (Liquid drop model)

اقترح بور هذا النموذج عام 1937 لتفسير بعض الظواهر الفيزيائية النووية كالانبعاث النووي و الانشطار النووي و اشتقاق معادلة طاقة الربط النووية إلا انه لا يصف حركة النيوكليونات داخل النواة و لا كيفية تفاعلها مع بعضها.

ومن تسمية النموذج يتضح أن النواة قد شبهت بقطرة السائلة

الفرضيات الأساسية في هذا النموذج:

1- تتكون النواة من مادة غير قابلة للانضغاط وبذلك فأن $R \propto A^{\frac{1}{3}}$

2- القوى النووية هي نفسها (متساوية ،متماثلة) لجميع النيوكليونات أي أنها لا تعتمد على كونها بروتونات أو نيوترونات.

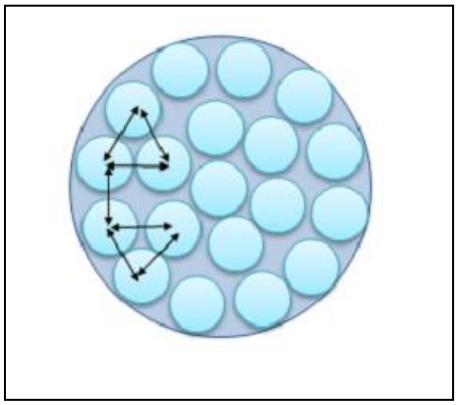
3- القوى النووية مشبعة.

لقد تمكن وايسكر فيما بعد من اشتقاق معادلة شبه عملية لحساب أو إيجاد طاقة الربط (E) وان هذه القيمة تحددها عوامل عديدة ومؤثرة أي أن :

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \ldots\ldots\ldots\

I.1.1.2. الطاقة السطحية (E_s)

في الحقيقة هناك نيوكليونات ضمن العدد الكتلي A تقع على سطح النواة ولا تلامس 12 نيوكليون آخر , وان عدد النيوكليونات السطحية يتناسب مع المساحة السطحية للنواة .



النيوكليون الموجود داخل النواة يرتبط مع النيوكليونات الموجودة حوله في جميع الاتجاهات . أما النيوكليون الموجود على السطح فيرتبط بعدد محدد من النيوكليونات كما يوضحه الشكل

نفرض أن النواة كروية الشكل و بالتالي فان مساحة السطح

$$S = 4\pi R^2$$
$$S = 4\pi (r_0 A^{1/3})^2$$
$$S = 4\pi r_0^2 A^{2/3}$$
$$S = bA^{2/3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (I.47)$$

- إن عدد النيوكليونات السطحية تتناسب مع $A^{\frac{2}{3}}$ وهذا العدد من النيوكليونات السطحية يؤدي إلى نقصان في الطاقة الكلية الرابطة (إن أعظم تأثير لها على النوى الخفيفة لأن الجزء الأكبر من النيوكليونات على السطح).

$$E_S = -a_s A^{2/3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (I.48)$$

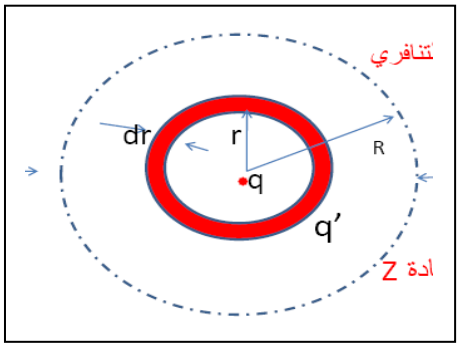
I .1.1.3. طاقة كولوم (E_c)

هناك أيضاً طاقة ناتجة عن قوى كولومية ولحساب هذه الطاقة نفترض أن الشحنة موزعة بانتظام على النواة وبالتالي فإن كثافة الشحنة تعطى بالعلاقة :

$$\rho = \frac{Ze}{\frac{3}{4}\pi R^3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\

ولحساب الطاقة لابد من حساب الجهد ، لو فرضنا كرة مشحونة نصف قطرها r وحساب قانون كولوم

نحصل على الجهد :



$$P = \frac{4}{3}\pi\rho r^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (I.50)$$

ولنفرض أن لدينا قشرة سمكها dr تكون شحنتها :

$$Q = 4\pi\rho r^2 dr \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (I.51)$$

لو أردنا أن نأتي بهذه الشحنة [القشرة] ونضعها على سطح النواة فلا بد من بذل شغل يعطى بالعلاقة :

$$dW = Q.P$$

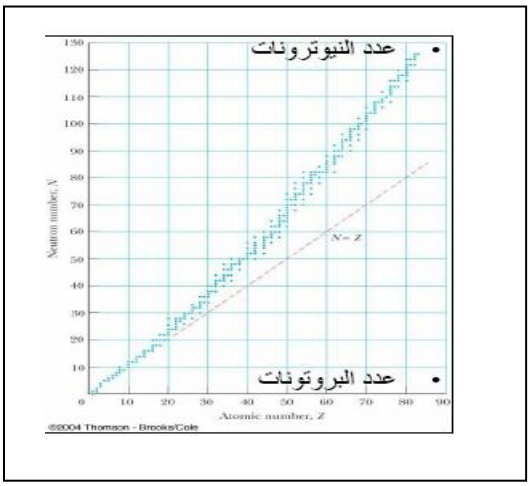
$$\therefore W = \int_0^R dW = \int_0^R 4\pi\rho r^2 . \tfrac{4}{3}\pi\rho r^2 dr$$

$$\therefore W = \tfrac{3}{5}\frac{Ze^2}{R}$$

بذلك تكون الطاقة الكولومية الناتجة عن التنافر هي :

$$E_c = -a_C \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\

وقد وجد عند بناء النواة الأولى من الثانية فان ν من البروتونات يجب تحويلها إلى نيوترونات أي :



$$N = \frac{A}{2} + \nu$$

$$Z = \frac{A}{2} - \nu$$

$$\nu = N - \frac{1}{2}A = N - (Z + \nu) = N - Z - \nu$$

$$2\nu = N - Z \rightarrow \nu = \frac{1}{2}(N - Z)$$

ووجد عمليا أيضا بان طاقة اللاتناظر تتناسب طرديا مع مربع فائض عدد النيوترونات $(A-2Z^2)$ *وعكسيا مع العدد الكتلي* A *أي أن :*

$$E_a \propto (A - 2Z\ )^2 / A$$

$$E_a = -a_a (A-2Z)^2 / A = -a_a (N-Z)^2 / A \quad \ldots\ldots\ldots\

$$\delta = \frac{a_p}{A^{\frac{3}{4}}} \quad .....(I.54)$$

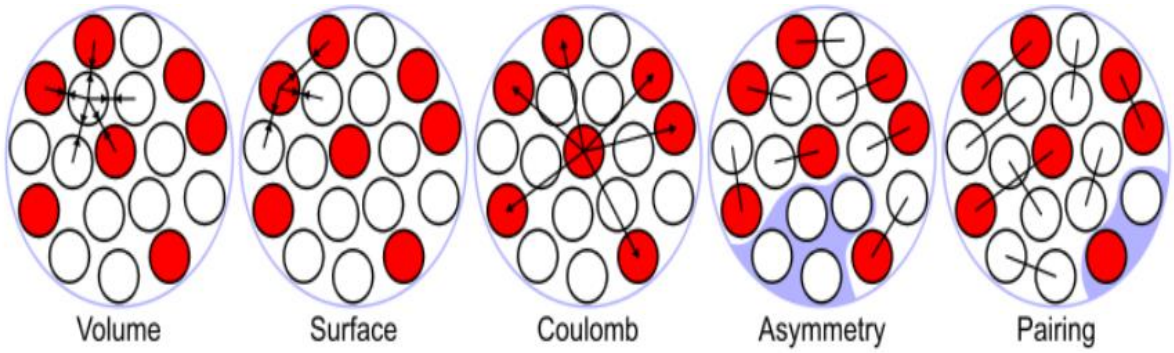
I.6.1.11.حد الطبقات

هذا الحد يأتي من علمنا بأنه عند كون عدد البروتونات أو النيترونات يساوي عددا سحريا تكون النواة أكثر استقرارا، و بالتالي يكون هذا الحد موجبا و عمليا وجد انه يساوي : E_{sh}=1-3Mev

لقد تم عرض الحدود حسب كبر مساهمتها في طاقة الترابط، الحدود 5،6 ،4 تعد اقل مساهمة، و طبيعيا الحد السادس أصغرهم و من ثم سنتجاهله.

إذن طاقة الترابط الكلية لنواة في نموذج قطرة السائل وحسب ما حصل عليها (وايسكر) في عام 1935 تساوي :

$$E = a_v A + a_s A^{2/3} - a_C \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - a_a \frac{(A-2Z)^2}{A}(\pm,0)\frac{a_p}{A^{3/4}} \quad .....(I.55)$$



I.7.1.11. قيم الثوابت لمعادلة طاقة الترابط

a_v = 14 MeV , a_s = 13 MeV , a_c = 0.6 MeV

a_a = 19 MeV , a_p = 34 MeV

ومن المعادلة الأخيرة نستنتج أنها تعتمد على الكميتين A , Z ولاختيار قيمة لـ{ Z } تجعل الذرة أكثر استقراراً نتبع ما يلي :

نفاضل المعادلة بالسبة لـ{ Z } وبعد ذلك نستنتج العلاقة التالية :

$$\frac{\partial E}{\partial Z} = -\frac{a_C}{A^{1/3}}((Z-1)+Z) + \frac{4a_{as}}{A}\left(\frac{A}{2} - Z\right) \quad .....(I.56)$$

وبـذلك تكـون أفضـل قيمـة تجعـل النـواة مسـتقرة

عندما تكون :

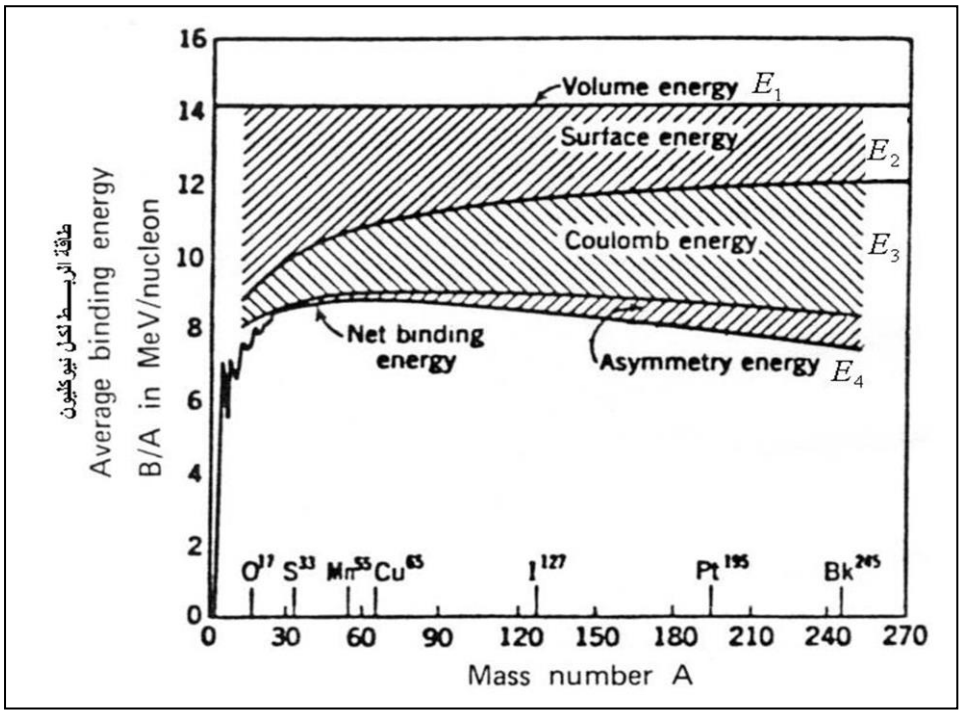
$$\frac{\partial E}{\partial Z} = 0$$

$$\Rightarrow -\frac{a_C}{A^{1/3}}\left((Z-1)+Z\right)+\frac{4a_{as}}{A}\left(A/2 - Z\right)=0$$

وبحل هذه المعادلة يصبح لدينا :

$$Z_{\min} = \frac{2a_{as}A + a_C A^{2/3}}{8a_{as} + 2a_C A^{2/3}} \quad .....(I.57)$$

يمكن توضيح المشاركة الفعالة لكل من الطاقة الحجمية، السطحية ، طاقة كولوم ، طاقة اللاتناظر و طاقة الازدواج إلى معدل طاقة الرابط للنوية الواحدة في الشكل أدناه :



شكل.19.I يوضح معدل الطاقة الربطة للنيوكليون وهي مجموع الطاقة الحجمية والطاقة السطحية وطاقة كولوم حسب نموذج قطرة السائل للنواة.

I .8.1.11. إثبات صحة نموذج قطرة السائل

من السابق نعلم أن:

$$E_{tot} = \{ZM_p + NM_n - M(A,Z)\}c^2$$

وبمساواة المعادلة السابقة بطاقة الربط الموجودة في قطرة السائل نحصل على :

$$\{ZM_p + NM_n - M(A,Z)\}c^2 = a_V A - a_S A^{2/3} - a_C \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - a_{as} \frac{(A/2 - Z)^2}{A} \pm \delta + \eta$$

وبقسمة الطرفين على c^2 نحصل على:

$$M(A,Z) = \{ZM_p + NM_n\} - a_V' A + a_S' A^{2/3} + a_C' \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} + a_{as}' \frac{(A/2 - Z)^2}{A} \pm k\delta \pm k\eta$$

حيث $k = 1/c^2$.

عندما نعوض عن قيمة $Z = 1, A = 1$ و قيم الثوابت فإن كتلة النواة هي كتلة الديتيريوم $\{D\}$ مما يدل على أن نموذج قطرة السائل نموذج صحيح .

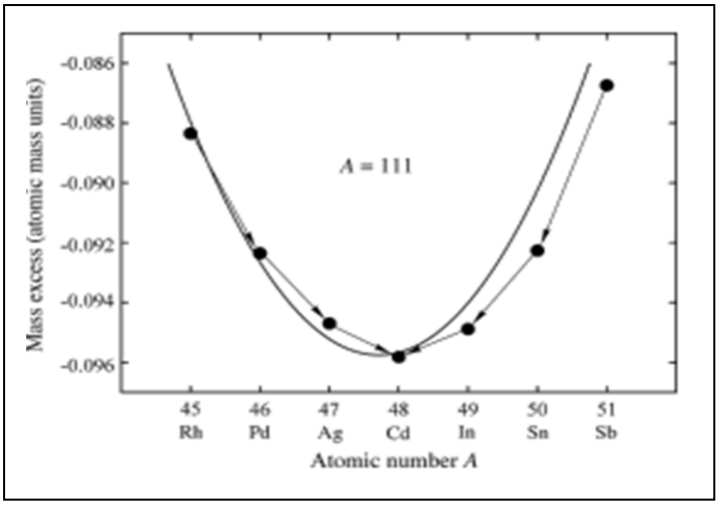
9.1.11.I.تطبيقات نموذج قطرة السائلة

لقد كان لطاقة الترابط دور فعال في فهم طبائع خصائص الاستقرار للنوى, وخصوصا النشاط الإشعاعي لجسيمات بيتا , وكذلك خصائص استقرار المتكاتلات .

عند رسم كتل او طاقات ربط الايزوبارات التي اعدادها الكتلية A, كدالة ل Z سنحصل على منحنى بشكل قطع مكافئ. وسيكون هناك حالتين :

1- عندما يكون A فرديا , سيكون هناك قطع مكافئ واحد , و ستكون للمنحنى نهاية صغرى عند قيمة صحيحة ل Z و التي تمثل العدد الذري للايزوبار المستقر و الأكثر ارتباطا و الأقل كتلة.

و على يسار ستتحل باشعاع جسيمات بيتا β^- , في حين تلك التي على اليمين ستتحل باشعاع جسيمات البوزيترون β^+ (الشكل (20.I))



الشكل 20.I استقرار النوى فردية عدد الكتلة

فمثلا هناك خمسة ايزوبارات ذات العدد الكتلي الفردي A=111 هي :

و بصيغة معادلات الانحلال يمكننا كتابة مايلي :

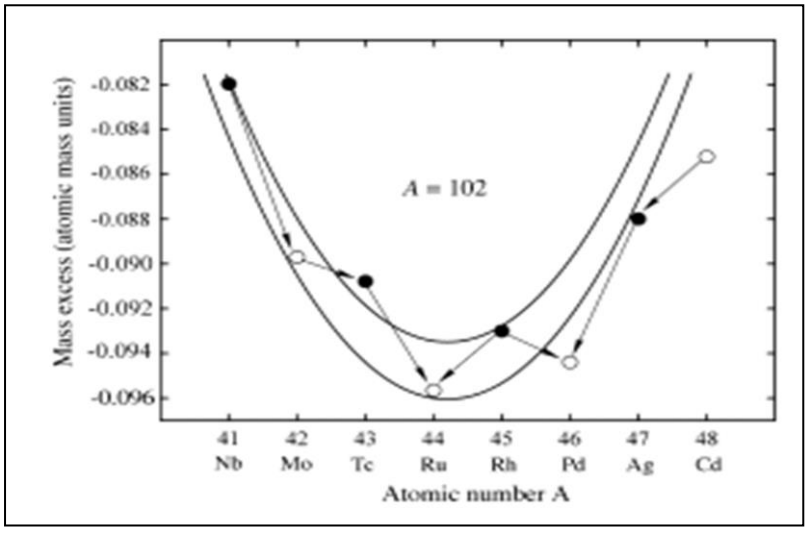
$$^{111}_{45}Rh \xrightarrow{\beta^-} ^{111}_{46}Pd \xrightarrow{\beta^-} ^{111}_{47}Ag \xrightarrow{\beta^-} ^{111}_{48}Cd$$

$$^{111}_{51}Sb \xrightarrow{\beta^+} ^{111}_{50}Sn \xrightarrow{\beta+} ^{111}_{49}In \xrightarrow{\beta^+} ^{111}_{48}Cd$$

و لتاكيد دقة تعبير وصياغة طاقة الربط , وفق نموذج قطرة السائل , يمكن استخراج القيمة النظرية للعدد الذري للايزوبار الاكثراستقرار وذلك باخذ مشتقة E بالنسبة لZ (العلاقة ((I.56)).

Z=32.2077

2- *اما في حالة عدد الكتلة Aالزوجي فان سبب وجود الحد الزوجي –الفردي E_δ في معادلة طاقة الترابط يجعلنا نتحصل على زوج من المنحنيات بشكل القطع المكافئ كما هو موضح في الشكل التالي*



الشكل I.21 انحلال المتكاتلات الزوجية عدد الكتلة

ففي الشكل I.21 نلاحظ ان المتكاتلات زوجية عدد الكتلة مكونة من عدد فردي لكل من عدد البروتونات و النيوترونات أو مكونة من عدد زوجي لكل من عدد البروتونات و النيوترونات و بحكم أن قيمة الحد الفردي –الزوجي في معادلة طاقة الترابط إما موجبة في حالة زوجي –زوجي أو سالبة في حالة فردي –

فردي , لذا كان لنا المنحنيان الواردان في الشكل السابق و على الشكل أيضا نرى طبيعة انحلال النويدات سواء بإشعاع β^- أو β^+ .

أليس هذا التحليل و الشرح المتعلق بانحلال المتكاتلات سواء الفردية أو الزوجية كان ممكنا بسبب تمكننا من إيجاد صيغة رياضية لطاقة الترابط في النوى . وهذا هو السبب في محاولة إيجاد النماذج المختلفة لتفسير ما يكتنف النواة من غموض, هذا ويستخدم نموذج قطرة السائل. كما انه هناك نماذج أخرى.

مثال:

أحسب طاقة الربط وكذلك طاقة كولوم للنواة Ge_{32}^{73} ؟

الحل :

من السابق طاقة كولوم :

$$E_C = \frac{3}{5}\frac{ke^2Z(Z-1)}{R}; R = 1.2\times10^{-13}A^{1/3}$$

$$= \frac{3}{5}\frac{ke^2Z(Z-1)}{1.2\times10^{-13}A^{1/3}}$$

$$= 0.617MeV \times \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}}; Z = 32, A = 73$$

$$E = 0.617MeV \times \frac{32(32-1)}{73^{1/3}} = 164MeV$$

أما طاقة الترابط النووي :

$$E_{tot} = \{ZM_p + NM_n - M(A,Z)\}c^2; N = A - Z = 41$$

$$= \{(32\times1.007)+(41\times1.008)-72.92\}c^2$$

$$B = 618MeV$$

مثال :

باستخدام المعادلة $E_c = \frac{3Z(Z-1)e^2}{5R}$ للتعبير عن الطاقة الكولومية الكلية و باعتبار أن الشحنة تساوي 4.8×10^{-10} esu اثبت أن الفارق بين طاقتي الترابط التريتيوم و الهليوم هي بسبب طاقة التنافر الكولومية في نواة الهيليوم.

الحل :

نظرا لان الفارق بين طاقتي الترابط التريتيوم و الهيليوم 0.771Mev فتساوي ذلك للطاقة الكولومية , حيث إن Z للهيليوم تساوي 2 ,أي أن :

$$0.771[Mev]\times 1.6\times 10^{-6}[erg/Mev]=\left(6/5\right)\times\left(4.8\times 10^{-10}\right)^2[esu]^2/R$$

$$R=2.24124\times 10^{-13}cm$$

أو باستخدام المعادلة الاعتيادية بين شحنتي البروتونين لحساب الطاقة الكولومية :

$$E=\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 R}$$

$$0.771[Mev]\times 1.6\times 10^{-13}\,joule/Mev=9\times 10^9\times 1.6\times 10^{-19}/R$$

$$R=1.87\times 10^{-15}cm$$

وهذا يعتبر نصف قطر مناسب للنوى الخفيفة مثل الهيليوم.

I.2.11. نموذج الطبقات Shell model :

بعد فشل نموذج قطرة السائل في تفسير بعض المعطيات الدقيقة بتركيب النواة مثال ذلك، السبب في استقرار النواة و ماهي القوة النووية التي تربط النويات داخل النواة الواحدة و الأعداد السحرية، ومن الدراسات السابقة للفيزياء الذرية , فسرت ميكانيكا الكم امتلاء الأغلفة الإلكترونية للذرة بوجود عدد من الإلكترونات يساوي الأرقام السحرية {2,8,18,32,...} ، و تكون هذه العناصر خاملة كيميائياً أي أن طاقة الفصل علية جداً [طاقة التأين]

انطلاقاً من ذلك نتوقع أن هناك تركيباً قشرياً للنواة كما في الذرة وكذلك وجود الأرقام السحرية كما في الذرة

$$N = 2,8,20,28,50,82,126$$
$$Z = 2,8,20,28,50,82$$

الاستنتاجات و المشاهدات التي دلت على وجود نظام الطبقات للنواة:

1. لوحظ أن عدد النظائر المستقرة { أي التي تكون فيها أعداد سحرية من Z, N} أكثر من عدد النظائر التي تكون فيها Z, N أكبر أو أقل من الأعداد سحرية.

2. لوحظ أن للعناصر التي لها Z , N أعداد سحرية تكون متوافرة في الطبيعة أكثر من غيرها .

3. طاقة فصل البروتونات والنيوترونات عند الأعداد السحرية تكون كبيرة .

4. المقطع العرضي { احتمال حدوث تأثر أو تفاعل نووي } فاحتمال حدوث تأثر بالنسبة للأنوية التي لها أعداد سحرية يكون ضعيفاً جداً بالمقارنة مع احتمال حدوثه مع الأنوية المجاورة .

5. الطاقة اللازمة لتهيج الأنوية التي لها أعداد سحرية عالية و أكبر من الطاقة اللازمة لتهيج الأنوية التي ليس لها أعداد سحرية .

عيوب النموذج الطبقات :

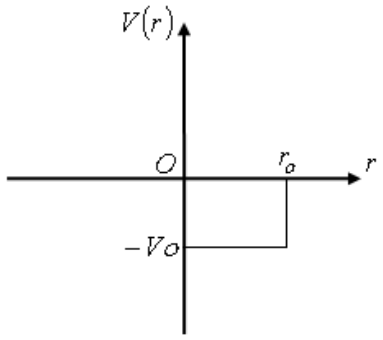
1-فشل النموذج الطبقات في أن يتنبأ بالحالات المتهيجة للنواة .

2- فشل النموذج الطبقات في تعليل عدم التماثل الكروي للعديد من النوى.

I.2.2.11. تطور النموذج الطبقات

النواة مكونة من دقائق نووية موزعة بطريقة معينة كما في الذرة، ولمعرفة توزيعها لا بد من معرفة الجهد النووي بحيث يمكن حل معادلة شرودنجر ومنها يمكن استنتاج مستويات الطاقة للنيوكلونات وأول محاولة لتفسير الأعداد السحرية هي استخدام دالة جهد البئر المربع :

$$V(r)=\begin{cases}-V_o(r\le r_o)\\ 0(r\ge r_o)\end{cases} \quad .....(I.58)$$



الشكل I.22 جهد البئر المربع

وعند استخدام هذه الدالة في معادلة شرودنجر :

$$\left\{\frac{-\hbar^2}{2m}\nabla^2+V(r)\right\}\Psi=E\Psi \quad .....(I.59)$$

واستنتاج حد الطاقة من المعادلة وجد أن عدد النيوكلونات في مستويات الطاقة طبقاً لهذا الجهد تختلف عن الأعداد السحرية للنواة .

وباستخدام دالة جديدة تسمى دالة جهد المتذبذب التوافقي البسيط:

$$V(r) = \tfrac{1}{2} kr^2 \quad \ldots\ldots\ldots\

$$E_T = [E_n + \Delta E]$$

$$\Delta E = \hbar^2 V_{LS}\left(\ell + \tfrac{1}{2}\right) \quad .....(I.64)$$

حيث ℓ تمثل عدد الكم المداري. ونتج من هذا الاقتراح تحقيق الأعداد السحرية جميعها .

عند حل معادلة شرودنجر باستخدام منخفض جهد مربع بجوانب مستديرة نحصل على مستويات نووية مستقرة للطاقة متميزة بأعداد كمية هي (n , l , m_l). تشغل كل من البروتونات والنيوترونات مجموعة من مستويات الطاقة النووية الخاصة بها وان البروتونات تتفاعل مع مجال القوى الكهربائية إضافة إلى تفاعلها مع مجال القوة النووية . للحصول على سلسلة من مستويات الطاقة النووية تؤدي إلى تفسير ظاهرة الأعداد السحرية فمن الضروري افتراض التفاعل الناتج من ازدواج أو تفاعل بين العزم الزاوي المداري والذاتي للنيوكليون (L . S)، ان تفاعل العزم مع المدار يؤدي إلى انشطار كل حالة ذات قيمة معينة إلى (2j+1) حالة ثانوية ، وان (2j+1) يمثل اكبر عدد من النيوكليونات في المستوي . إن العزم الزاوي الكلي (j) للنيوكليون الواحد يساوي : $S = \pm\frac{1}{2}$, $J = l + S$

And : (الحالة)= S P d f g h I

(l) = 0 1 2 3 4 5 6

1P (l=1)

$j = l - \frac{1}{2} = 1 - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$ $\quad {}^1P_{\frac{1}{2}}$ $\quad 2j+1 = 2$

$j = l + \frac{1}{2} = 1 + \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$ $\quad {}^1P_{\frac{3}{2}}$ $\quad 2j+1 = 4$

يلاحظ انه يوجد مستويين ذوات طاقتين مختلفتين لكل قيمة واحدة ل(l) ما عدا القيمة (l =0) أو الحالة (S) وبهذا تكون قيمة (j) دائما مضاعفات عدد فردي . يلاحظ من الشكل أن طبقات تكون ممتلئة عندما يكون هناك (2, 8, 20, 28, 50, 82, 126) نيوترونا او بروتونا في النواة وبهذا يكون نموذج الطبقات للنواة قد فسر ظاهرة الأعداد السحرية . وقد لوحظ ان النوى ذات عدد Z و N سحريين لها عزم رباعي القطب الكهربائي يساوي صفر أي أنها متناظرة بينما تكون النوى الأخرى مشوهة .

إن نموذج الطبقات يفترض بان النيوكليونات تتأثر بمجال يخص النواة ككل بدلاً من مجال النيوكليونات المنفردة، وان حركة كل نيوكليون لا تعتمد على حركة أي نيوكليون آخر ويخضع لمبدأ باولي للانفراد(الاستبعاد).

إن النوى التي تمتلك عددا من البروتونات أو النيوترونات مساوياً للأعداد السحرية

(2,8,20,28,50,82,126 (نجدها أكثر وفرةً وأكثر استقراراً من النوى الأخرى.

إن نموذج الطبقات للنواة وجد تفسير للأعداد السحرية والصفات النووية الأخرى، ودالة الطاقة الكامنه لهذا النموذج تشبه منخفض جهد مربع لكن جوانبه مستديرة.

لكي نحصل على مستويات طاقة تتفق مع وجود الأعداد السحرية، افترض كل من ماير و جينسون وجود ازدواجاً بين العزم الزاوي المداري والدوران الذاتي للنيوكليون أو ما يسمى ازدواج. (L.S)

إن نموذج الطبقات يستطيع أن يستنتج قيمة العزم الزاوي الكلي للنواة والتماثل بالاستناد الى القواعد التالية:

1- يكون العزم الزاوي الكلي للحالة الأرضية(المستوي الأرضي) لنواة من النوع (زوجية-زوجية) مساوياً إلى الصفر والتماثل هو موجب

$$j^{\pi}=0^{+}$$

الإشارة (+) تعني أن التماثل (π) هو موجب

2- ان النواة من النوع (زوجية-فردية) أو (فردية-زوجية) يكون j للحالة الأرضية (المستوي الأرضي) للنيوكليون المنفرد فقط، وقيمته عدد نصف كامل ويحسب التماثل (π) من

$$\pi=(-1)^{l}$$

3- النواة من النوع (فردية فردية) نحسب قيمة j لها للحالة الأرضية كما يأتي

$$j=j_n+j_p$$

حيث أن j_n : تمثل العزم للنيوترون

j_p : تمثل العزم للبروتون

ويكون العزم الزاوي الكلي عدد صحيح محصور بين

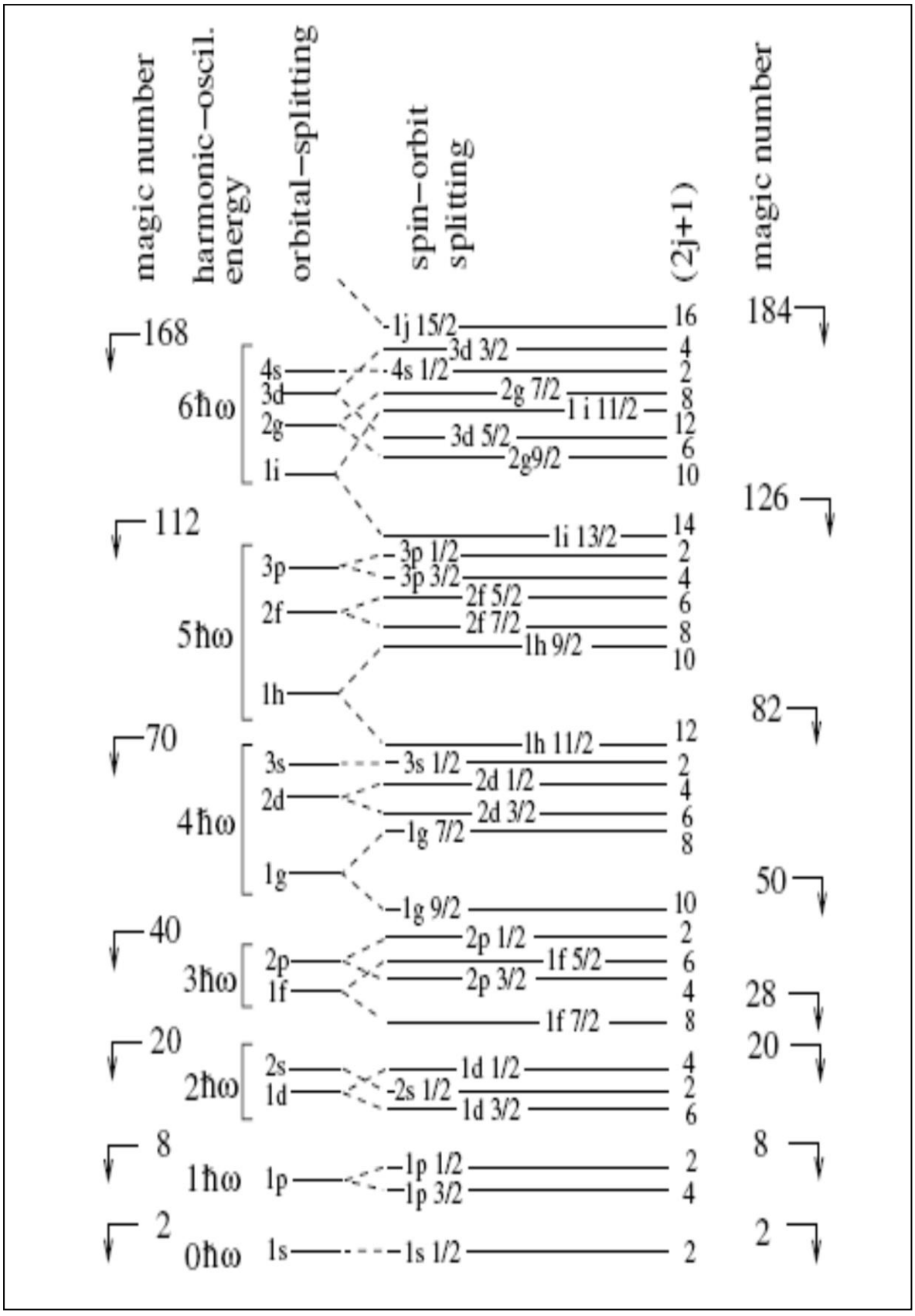
$$|j_n- j_p| \leq j \leq j_n+j_p$$

اما التماثل فيحسب من

$$\pi=(-1)^{ln+lp}$$

حيث أن π(التماثل) (Parity)

إن التماثل هو خاصية ذاتية لدالة موجة الجسيم، و يبين التماثل مدى التغير على الدالة عند استبدال متجه الموضع (r) بصورته في المرآة (r -) فإذا لم تتغير هذه الموجة , فإننا نقول أن التماثل موجب و إذا تغيرت هذه الدالة نعتبر التماثل سالب.



مثال **الشكل I.24 يوضح المدارات النووية و كيفية انشطارها**

وضح شكل المستويات الطاقة لنواة عنصر الكالسيوم $^{43}_{20}Ga$ و توزيع النويات فيها

مثال 2 :

ما قيمة العزم و التماثل للنوى التالية $^{49}_{22}Tl$ و $^{7}_{3}Li$.

مثال 3 :

بالاعتماد على نموذج قطرة السائلة احسب الطاقة الكولومية لنوى $^{15}_{7}N$ و $^{15}_{8}O$ ثم وضح الاختلاف بين الطاقتين , علما أن a_c=59Mev.

تمارين

معطيات عامة

mn = 1,00866u ; mp = 1,00728u ; me=5,5.10^{-4} u ; 1u = 1,66054.10^{-27}kg ;

1u.c^2=931,5MeV ; 1eV = 1,6022.10^{-19}J ; c = 3.10^8m.s^{-1}

التمرين-1

املأ الجدول التالي بدون الاستعانة بالجدول الدوري أو أية وثيقة أخرى:

رمز النواة	${}^{4}_{2}X$		${}^{12}_{6}X$	${}_{1}X$	X_6	${}^{2}X$	${}^{35}X$
عدد البروتونات		8					17
عدد النوترونات		8			8	1	
عدد النوية				1			

التمرين 2

اوجد شحنة و كثافة نواة الذهب ${}^{197}_{73}Au$

التمرين -3

اذا كان نصف قطر النواة يعطى بالعلاقة التالية:

$R = r_0 A^{1/3}$ حيث $r_0 = 1.37F$

-اوجد كثافة المادة النووية ب 1- g/cm^2 2-/F^3 نيكليون

التمرين 4

جسيم ألفا يمتلك طاقة حركية مقدارها T_α اصطدم راسيا بنواة عددها الكتلي Aاحسب اقصر مسافة يقترب بها جسيم ألفا من النواة بأخذ بعين الاعتبار ارتداد النواة.

التمرين 5

اوجد العزم المغناطيسي الكلي لنواة الهليوم ${}^{3}_{2}He$

التمرين 6

اوجد العزم المغناطيسي البرمي لنواة الديتريوم ${}^{2}_{1}He$

التمرين 7

اوجد التمثيل الطيفي لنواة الهليوم ^4_2He

التمرين8

دالة الموجة النووية تعطى بالعلاقة : $\psi(r,\theta,\phi)=\cos\theta e^{-ar}e^{i\phi}$

اوجد تماثل دالة الموجة

التمرين 9

لتكن الانوية التالية

$M(^4He)=4.002603u$

$M(^{16}_8O)=15.995u$

- احسب طاقة ارتباطهما ب Mev و ب J

-أي النواتين أكثر استقرار

التمرين 10

1- حدد تركيب نواة الاورانيوم 235 $^{235}_{92}U$

2- احسب النقص الكتلي لهذه النواة بالوحدتين u و kg

3- احسب بالوحدتين J و ev طاقة الربط ثم احسب طاقة الربط بالنسبة لنوية لهذه النواة .

4- قارن استقرار نواة الاورانيوم 235 و نواة الراديوم 226 علما أن طاقة الربط لهذه الأخيرة تساوي 1731.16Mev

التمرين 11

1- احسب طاقة انفصال البروتون في التفاعل الآتي :

$$3He\rightarrow^2_1H+p$$

2- احسب طاقة انفصال البروتون و النيترون بدلالة طاقة الترابط

المعطيات :

$M(^3_2He)=3.016029u$ $M(^2_1H)=2.014102u$

$M(^1_1H)=1.007825u$

التمرين 12

الدوترون ${}^{2}_{1}H$ متوفر في الطبيعة في الحالتين الكميتين ${}^{3}S_1$ و ${}^{3}D_1$ و يعادل عزمه ثنائي القطب المغناطيسي $0.8574376\mu_N$.

- احسب النسبة العددية لكل حالة علما أن عزم الدوترون المغناطيسي في الحالة الأولى ${}^{3}S_1$ يساوي $0.879804\mu_N$ وفي الثانية ${}^{3}D_1$ يساوي $0.320644\mu_N$

التمرين -13

- باستخدام الصيغة الوضعية لطاقة الترابط النووي:

$$E = a_1 A - a_2 A^{2/3} - a_3 Z^2 A^{-1/3} - a_4 \frac{(A-2Z)^2}{A}$$

بفرض أن الأنوية ايزوبارية A= constant اشتق صيغة بين A و Z للأنوية الطبيعية

التمرين -14

اوجد قيمة حد التزاوج a_p في الصيغة النصف تجريبية للكتلة باستعمال كتل الايزوبارات التالية

$M({}^{50}_{23}V) = 49.9471164u$, $M({}^{50}_{24}Cr) = 49.946055u$, $M({}^{50}_{25}Mn) = 49.954215u$,

$M({}^{50}_{21}Sc) = 49.951730u$, $M({}^{50}_{22}Ti) = 49.944786u$

التمرين - 15

الطاقة الكولومبية التالية $E_c = \frac{3k(Ze)^2}{5R}$

ناقش فيزيائيا و رياضيا هذه العلاقة

التمرين -16

- أعداد البروتونات و النيوترونات تكون غالبا متساوية من الأنوية الخفيفة المستقرة و مع ذلك فان عدد النيوترونات يكون أكبر من عدد البروتونات من الأنوية الثقيلة المستقرة .بالنسبة للأنوية الخفيفة الطاقة

المطلوبة لنزع بروتون أو نيوترون تكون تقريبا متساوية و مع ذلك بالنسبة للأنوية الثقيلة تتزايد الطاقة اللازمة لنزع بروتون عن الطاقة اللازمة لنزع نيوترون . اشرح هذه الحقائق بافتراض أن القوة النووية متساوية بين كل زوج من النيوكليونات.

التمرين –17

ـ باستخدام الصيغة الوضعية لطاقة الترابط النووي حدد العلاقة بين عدد النيوترونات و البروتونات التي تفسر الشكل العام لمنحنى الثبات النووي. N=f (Z)

التمرين –18

نعتبر النوى الخفيفة التي يكون فيها عدد البروتونات مساويا لعدد النوترونات اي : $Z = N = \frac{A}{2}$

اكتب طاقة الربط النووي لكل نوية بدلالة العدد الكتلي A (نهمل طاقة التزاوج) ثم احسب قيمة A ثم Zالتي تبلغ من اجلها ذروتها .

التمرين –19

ـ وضح سبب تزايد عدد النيوترونات عن عدد البروتونات من الأنوية الثقيلة.

التمرين – 20

- احسب الحاجز الجهدي الكولومي لنواتي الديتريوم بفرض ان القوة النووية تتسع بحدود 2fr

احسب درجة الحرارة المطلوبة للتغلب على هذا الجهد

التمرين –21

يتم ملأ مستويات الطاقة طبقا لنموذج الطبقات النووي بالترتيب التالي

$$1S_{1/2}\ ,1\ P_{3/2}\ ,1P_{1/2}\ ,1d_{5/2}$$

1- ما هو المسؤول عن التقسيم بين $P_{3/2}$, $P_{1/2}$

2- من النموذج تمثل نواة الأكسجين ^{16}O مثالا جيدا لنواة مغلقة الطبقات و تتميز بسبين و الشفعية . ما هي القيمة المتوقعة لقيم لسبين و الشفعية للنواة

3- بالنسبة للأنوية فردي– فردي يوجد العديد من القيم المسموحة لسبين و الشفعية . حدد القيم المسموحة لنواة الفلور ^{18}F

4- اشرح حقيقة أن كل الأنوية زوجي –زوجي مثل

التمرين – 22

على اساس نموذج القشرة و باعتبار تفاعل البرم ما هي التسميات الطبقة للنوي التالية $^{87}_{32}Ge$ و $^{11}_{6}C$ ثم احسب قيمة الزخم الزاوي و قارن لكل نواة مع تلك المقاسة عمليا و هي $J^{\pi}(^{87}_{32}Ge) = \frac{9}{2}^{+}$ و $J^{\pi}(^{11}_{6}C) = \frac{3}{2}^{+}$

المحور الثاني
التفاعلات النووية

II.1.مقدمة

التفاعل النووي في الفيزياء النووية هو تفاعل يحدث عندما تصطدم نواتي ذرتين ببعضهما أو عندما يصطدم جسيم أولي مثل البروتون أو النيوترون بنواة ذرة ، وينشأ عن هذا الاصطدام مكونات جديدة تختلف عن المكونات الداخلة في التفاعل . هذا التفاعل قد يتضمن عدد أكبر من اثنين من المكونات الداخلة في التفاعل، ولكن اصطدام أكثر من جسيمين في نفس اللحظة هو احتمال ضعيف جدا، لذلك يندر هذا النوع من التفاعل. ومن خلال اصطدام الجسيم الأولي بالنواة تتكون أولا ما يسمي النواة المركبة، التي تتحلل في وقت قصير جدا، وينتج عن ذلك نواة جديدة مصحوبة بانطلاق جسيم أو جسيمات أخرى وربما حرارة. أما إذا افترق الجسيمان الداخلان في التفاعل من دون أن تختلف المكونات الناتجة عن المكونات الداخلة في التفاعل، فلا يسمي هذا تفاعل نووي بل يسمي فقط اصطدام مرن.

II.2. ديناميكة التفاعلات النووية

تتم التفاعلات النووية في مرحلتين هما:

المرحلة الأولى.

تتخلص هذه المرحلة في امتصاص نواة الهدف للجسيم الساقط (القذيفة) وتتكون مرحلة تسمى بالنواة المركبة.

هذه النواة شديدة الاستثارة دائما لأن الجسيم الممتص يعطي للنواة المتكونة طاقته الحركية بالإضافة إلى طاقه ربط النيوكليونات الممتصة

المرحلة الثانية

تبدأ بانحلال هذه النواة المركبة من خلال انبعاثا جسيما تنتج نواة جديدة

ويمكن تمثيل هذه المرحل كالتالي:

1- النواة الأصلية(الهدف) + الجسيم الساقط ـــ نواة مركبه

2- النواة المركبة ـــ نواه ناتجة + جسيم متطاير(له طاقه حركه)

عمر النواة المركبة حوالي 10^{-14}s (من الثانية)وهو زمن قصير جدا لذلك فأن مرحله تكوين النواة المركزية تسمى بالمرحلة الشبه انتقاليه (مرحله تخيليه ،وطريقه اضمحلال هذه النواة لا يعتمد على طريقه تكوينها بل تعتمد على توزيع الطاقة داخل النواة المركبة والدليل على ذلك أن اضمحلال النواه المركبه يمكن أن يؤدي إلي عده احتمالات كما هو موضح في الامثلة الأتية :

مثال1

$$^{27}_{13}Al + ^{1}_{1}P \rightarrow {}^{28}_{14}C \rightarrow {}^{24}_{12}Mg + {}^{4}_{2}He(\alpha)$$
$$\rightarrow {}^{27}_{14}Si + {}^{1}_{0}n$$
$$\rightarrow {}^{24}_{11}Na + 3{}^{1}_{1}P + {}^{1}_{0}n$$

مثال 2

$$^{27}_{13}Al + {}^{4}_{2}He(\alpha) \rightarrow {}^{31}_{15}C \rightarrow {}^{30}_{15}P + {}^{1}_{0}n$$
$$\rightarrow {}^{30}_{14}Si + {}^{1}_{1}P$$

II.3. عوامل التي تتحكم في التفاعل النووي

1-طاقة ونوع القذيفة ,فإذا كانت القذيفة المتفاعلة (الساقطة) مع نواه الهدف بروتونات مثلاً فإن ناتج التفاعل يختلف عما إذا كانت القذيفة نيوترونات أو جسيمات الألفا أو اشعاعات الجاما .

كما إن طاقة القذيفة كذلك يتحكم في نوع التفاعل، وقد امكن تقسيم طاقة القذيفة إلى خمس مجموعات هي 1-قذيفة طاقتها منخفضة (قذائف بطيئة) 0<E<1000ev

2- قذيفة طاقتها متوسطة 1kev <E<10kev

3-قذيفة طاقتها عالية 0.5mev<E<10mev

4-قذيفة طاقتها عاليه جدا 10mev<E<50mev

5–قذيفة طاقتها فوق عالية E>50mev

2–كتلة الهدف حيث ان تفاعل النوى الحقيقية تختلف بكل تأكيد عن تفاعل النوى الثقيلة او المتوسطة ، وقد حصرت هذة الثلاثة الانواع لكتلة الهدف كما يأتي

1–نوى خفيفية 1<A<25

2–نوى متوسطة 25<A<80

3–نوى ثقيلة 80<A<250

II.4.التفاعلات النووية الكلاسيكية

إذا كان هناك جسيم متحرك له طاقة عالية تؤهله إلى اختراق حاجز الجهد من نواة ما فإن النواة سوف تأسره بواسطة قوى الجذب النووية وخلال وقت $10^{-13} Sec$ ينتج جسيمات أخرى مختلفة عن الجسيمات الساقطة وهذه العملية هي التفاعل النووي ويمكن التعبير عنه بالمعادلة التالية :

$$a + X_P \rightarrow Y_D + b \quad \text{.....(II–1)}$$

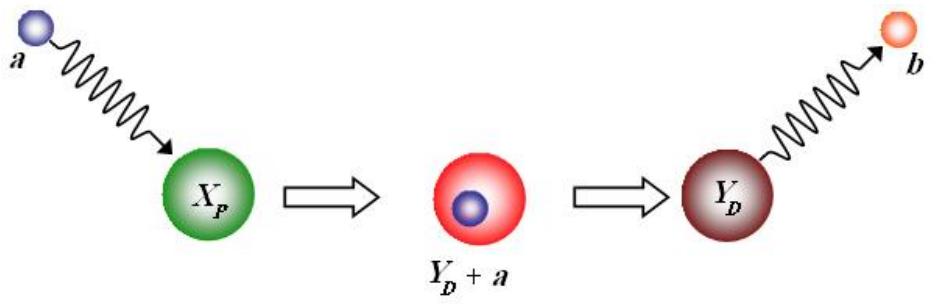
حيث a : جسيم ساقط .

X_P : النواة الهدف (النواة الأم) .

Y_D : النواة المرتدة (النواة البنت) .

b : الجسيم الناتج .

و الشكل التالي يوضح عملية التفاعل النووي :



ويمكن اختصار الرمز للتفاعل النووي كالتالي :

$$X_P(a,b)Y_D \quad \text{.....(II-2)}$$

مثال :

قذف جسيم ألفا باتجاه بريليوم ${}^{5}_{4}Be^{9}$ لينتج الكربون ${}^{6}_{6}C^{12}$ و N كما في المعادلة التالية :

$$\alpha\left({}^{2}_{2}He^{4}\right)+Be^{9}\rightarrow C^{12}+N$$

حيث أن البريليوم النواة الهدف و ألفا الجسيم المقذوف و الكربون النواة المرتدة و النيترون الجسيم الناتج .

ويمكن اختصار الرمز للتفاعل النووي كالتالي :

$$Be_4^9(\alpha,N)C_6^{12}$$

ليكن لدينا التفاعل النووي التالي :

$$a+X_P\rightarrow Y_D+b$$

فإن الطاقة الكلية قبل التصادم تعطى :

$$E_i=E_a+E_P$$
$$E_i=\left(T_a+m_ac^2\right)+\left(T_P+M_Pc^2\right) \quad \text{.....(II-3)}$$

حيث $\left(T_a\right)$: الطاقة الحركية للجسيم a.

$\left(T_P\right)$: الطاقة الحركية للنواة الهدف .

$\left(m_ac^2\right)$: الطاقة سكون للجسيم a.

$\left(M_Pc^2\right)$: الطاقة سكون للنواة الهدف.

وكذلك بعد التصادم تكون الطاقة الكلية كالتالي :

$$E_f=\left(T_b+m_bc^2\right)+\left(T_D+M_Dc^2\right) \quad \text{.....(II-4)}$$

حيث $\left(T_b\right)$: الطاقة الحركية للجسيم b.

$\left(T_D\right)$: الطاقة الحركية للنواة المرتدة .

$\left(m_b c^2\right)$: الطاقة سكون للجسيم b.

$\left(M_D c^2\right)$: طاقة السكون للنواة المرتدة .

و في نظام معزول لا تؤثر عليه قوى خارجية فإن الطاقة قبل التصادم مساوٍ للطاقة الكلية بعد التصادم .

$$\left(T_a + m_a c^2\right) + \left(T_P + M_P c^2\right) = \left(T_b + m_b c^2\right) + \left(T_D + M_D c^2\right)$$

وبالنقل و الترتيب و ضرب المعادلة في (–) من الطرفين نحصل على:

$$\Rightarrow \left(T_b + T_D\right) - \left(T_a + T_P\right) = \left[\left(m_a + M_P\right) - \left(m_b + M_D\right)\right]c^2$$

تعرف طاقة التفاعل Q على أنها :

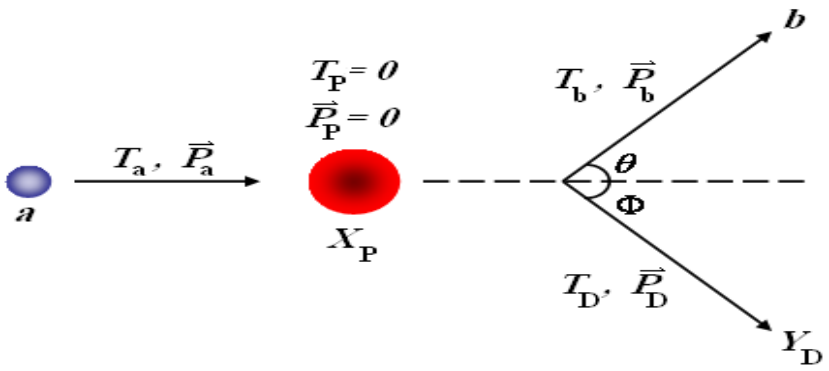
$$Q = \left(T_b + T_D\right) - \left(T_a + T_P\right) = \left[\left(m_a + M_P\right) - \left(m_b + M_D\right)\right]c^2 \quad \text{.....(II-5)}$$

نعلم أنه في التصادمات المرنة تكون الطاقة الحركية محفوظة وبالتالي فإن $[Q = 0]$ وبالتالي نستطيع أن نعرف Q على أنها الزيادة في الطاقة الحركية أو النقص في كتلة السكون.

لذا ينتج لدينا حالتان :

1. عندما تكون $Q > 0$ فإن التفاعل النووي يعطي طاقة (طارد للطاقة).
2. عندما تكون $Q < 0$ فإن التفاعل النووي يحتاج طاقة (ماص للطاقة).

ولحساب طاقة التفاعل نأخذ النظام التالي :



الشكل II .1. التفاعل النووي

من معادلة حفظ كمية الحركة :

$$\vec{P}_a = \vec{P}_b + \vec{P}_D$$
$$\therefore \vec{P}_D = \vec{P}_a - \vec{P}_b$$

وبتربيع الطرفين (من قواعد تربيع المتجهات) :

$$\vec{P}_D^2 = \vec{P}_a^2 + \vec{P}_b^2 - 2P_aP_b\cos\theta \quad \text{.....(II-6)}$$

إذا كانت السرعة الناتجة لدينا صغيرة فإن القوانين ستكون قوانين الميكانيكا الكلاسيكية :

$$P^2 = 2mT \Rightarrow P = \sqrt{2mT} \quad \text{.....(II-7)}$$

بالتعويض من (II-5) في (II-6) نحصل على :

$$2T_DM_D = 2m_aT_a + 2m_bT_b - 2\sqrt{2m_aT_a}\sqrt{2m_bT_b}\cos\theta$$
$$T_D = \frac{m_a}{M_D}T_a + \frac{m_b}{M_D}T_b - \frac{\sqrt{2m_aT_a}\sqrt{2m_bT_b}}{M_D}\cos\theta \quad \text{.....(II-8)}$$

بالتعويض عن $T_P = 0$ و عن قيمة T_D من (II.8) في المعادلة (II.5) نحصل على :

$$Q = T_b + \frac{m_a}{M_D}T_a + \frac{m_b}{M_D}T_b - \frac{\sqrt{2m_aT_a}\sqrt{2m_bT_b}}{M_D}\cos\theta - T_a$$

لكن عندما يكون $1/2M_D >> \sqrt{m_am_b}$

فإن بالإمكان إهمال الحد الثالث و تصبح صورة المعادلة على الشكل :

$$Q = T_b + \frac{m_a}{M_D}T_a + \frac{m_b}{M_D}T_b - T_a$$
$$Q = \left(1 + \frac{m_b}{M_D}\right)T_b - \left(1 - \frac{m_a}{M_D}\right)T_a$$

II.5.أنواع التفاعلات النووية

تختلف التفاعلات النووية بإختلاف القذيفة فإما تكون القذيفة نيوترون أو بروتون أو ديوترون أو جسيم ألفا.

1- التفاعلات النووية بالنيوترونات:

هناك نواتج تفاعل مختلفة للتفاعل النووي بالنيوترونات وهذا الإختلاف ناتج عن إختلاف لطاقة النيوترون التي بدأ بها التفاعل.

- **تفاعل نيوترون- جاما Reaction (n,γ)**

يتم هذا التفاعل عندما تكون سرعة النيوترونات منخفضة مثل التفاعل التالي:

$$^{27}Al_{13} + {}^{1}_{0}n \longrightarrow [^{28}_{13}Al + \gamma]$$

وفي هذا التفاعل يكون الناتج نظير للعنصر المتفاعل.

- **تفاعل نيوترون- بروتون Reaction (n,p)**

في هذا التفاعل يتحد البروتون بالكترون من الوسط المحيط بالنواة ويتحول البروتون إلى ذرة هيدروجين مثل التفاعل التالي:

$$^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \longrightarrow [^{15}_{7}N] \longrightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{1}_{1}H$$

تفاعل نيوترون – ألفا Reaction (n,α)

في هذا التفاعل يجب أن تكون سرعة النيوترون عالية. مثل:

$$^{27}_{13}Al + {}^{1}_{0}n \longrightarrow [^{27}_{13}Al]^{+} \longrightarrow {}^{24}_{11}Na + {}^{4}_{2}He$$

- **تفاعل نيوترون- نيوترون Reaction (n,n)**

يتم هذا التفاعل عندما تكون طاقة النيوترون ما بين 100 كيلو إلكترون فولت إلى بضعة ميجا إلكترون فولت

(100 Kev – few Mev) وفي هذا التفاعل تكون طاقة النيوترون الخارج أقل من طاقة النيوترون الداخل (القذيفة) وتترك النواة في حالة إثارة تصل بعدها إلى حالة الإستقرار بإنبعاث أشعة جاما، والنواة الناتجة هي عبارة عن النواة المتفاعلة.

- **تفاعل نيوترون – 2 نيوترون (n,2n) Reaction**

يحتاج هذا التفاعل نيوترون ذو طاقة عالية تكفي للتغلب على طاقة الربط للنيوترونين ويكون الناتج في هذا التفاعل هو عبارة عن نظير للنواة المتفاعلة ذات وزن ذري أقل من الوزن الذري للمادة المتفاعلة بواحد مثل التفاعل التالي:

$$^{27}_{13}Al + {}^{1}_{0}n\ (fast) \longrightarrow {}^{26}_{13}Al + 2\ {}^{1}_{0}n$$

- **تفاعل النيوترون الذي يؤدي إلى الإنطار النووي Fission Reaction**

هو تفاعل بين نيوترونات سريعة أو بطيئة مع الأنوية الثقيلة $Z > 92$ وينتج عم هذا التفاعل عدد من النيوترونات ونواتين متوسطتين وطاقة هائلة 200 Mev لكل إنشطار وسوف يتم التعرف عليه فيما بعد.

2- التفاعلات النووية بالبروتونات P- Reactions

تختلف التفاعلات النووية بالبروتونات تبعا فختلاف الطاقة الحركية للقذيفة (البروتون)، والبروتون عبارة عن نواة ذرة الهيدروجبن. ومن تفاعلات البروتون ما يلي:

- **تفاعل بروتون – ألفا Reaction ($p-\alpha$)**

ينتج عن هذا التفاعل نواة مختلفة ونواة الهيليوم مثل:

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

$$^{19}_{9}F + 1_{1}H \longrightarrow [{}^{20}_{10}Ne]^{*} \longrightarrow {}^{16}_{8}O + {}^{4}_{2}He$$

- **تفاعل بروتون – نيوترون (P,n) Reaction**

يكون هذا التفاعل ماص للحؤاؤة دائما Endoergic ويرجع ذلك إلى أن مجموع أوزان المواد الناتجة أكبر من مجموع أوزان المواد المتفاعلة لأن وزن النيوترون أكبر من وزن البروتون مثال ذلك:

$$^{18}_{8}O + ^{1}_{1}H \longrightarrow [^{19}_{9}F] \longrightarrow ^{18}_{9}F + ^{1}_{0}n$$

تفاعل بروتون – جاما Reaction (P,γ)

في هذا التفاعل تخرج أشعة جاما بطاقة عالية كأحد نواتج التفاعل مثل:

$$^{27}_{13}Al + ^{1}_{1}H \longrightarrow ^{28}_{14}Si + \gamma$$

- **تفاعل بروتون – ديوترون Reactin (P, d)**

في هذا التفاعل يكون الناتج عبارة عن نظير للنواة المتفاعلة مثل:

$$^{9}_{4}Be + ^{11}H \longrightarrow [^{10}_{5}Be]^{*} \longrightarrow ^{8}_{4}Be + ^{2}_{1}H$$

والديوترون هو عبارة عن الهيدروجين الثقيل الذي يحتوي على بروتون ونيوترون.

3- التفاعلات النووية بالديوترونات Reaction -d

يوجد ثلاثة أنواع من التفاعلات النووية بالديوترونات، ويتم إنتاج الديوترون بواسطة السيكلترون بطاقة عالية تصل إلى عدة ميجا إلكترون فولت ومن هذه التفاعلات ما يلي:

- **تفاعل ديوترون – ألفا Reaction (d,α)**

ويعتبر هذا التفاعل طارد للحرارة Exothermic ومن الأمثلة على هذا التفاعل ما يلي:

$$^{27}_{13}Al + ^{2}_{1}H \longrightarrow [^{29}_{14}Si]^{*} \longrightarrow ^{25}_{12}Mg + ^{4}_{2}He$$

$$^{16}_{8}O + ^{2}_{1}H \longrightarrow [^{18}_{8}F]^{*} \longrightarrow ^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He$$

تفاعل ديوترون – بروتون Reaction (d,P)

يعتبر هذا النوع من التفاعل طارد للحرارة والنواة الناتجة من التفاعل عبارة عن نظير للنواة النتفاعلة مثل:

$$^{23}_{11}Na + {}^{2}_{1}H \longrightarrow [{}^{25}_{12}Mg]^{*} \longrightarrow {}^{24}_{11}Na + {}^{1}_{1}H$$

$$^{31}_{15}P + {}^{2}_{1}H \longrightarrow [{}^{33}_{16}S]^{*} \longrightarrow {}^{32}_{15}P + {}^{1}_{1}H$$

تفاعل ديوترون – نيوترون Reaction (d,n)

من أمثلة هذا النوع من التفاعل ما يلي:

$$^{12}_{6}C + {}^{2}_{1}H \longrightarrow [{}^{14}_{7}N]^{*} \longrightarrow {}^{13}_{7}N + {}^{1}_{0}n$$

$$^{9}_{4}Be + {}^{2}_{1}H \longrightarrow [{}^{11}_{9}B]^{*} \longrightarrow {}^{10}_{5}B + {}^{1}_{0}n$$

4- تفاعلات ألفا Reaction -α

يوجد نوعين فقط من تفاعل ألفا يكون الناتج فيهما إما نيوترون أو بروتون وهما:

- **تفاعل ألفا – نيوترون Reaction (α,n)**

من أمثلة هذا النوع من التفاعل ما يلي:

$$^{27}_{13}Al + {}^{4}_{2}He \longrightarrow [{}^{31}_{15}P]^{*} \longrightarrow {}^{30}_{15}P + {}^{1}_{0}n$$

$$^{23}_{11}Na + {}^{4}_{2}He \longrightarrow [{}^{27}_{13}Al]^{*} \longrightarrow {}^{26}_{13}Al + {}^{1}_{0}n$$

- **تفاعل ألفا – بروتون Reaction (α, P)**

مثال هذا التفاعل ما يلي:

$$^{17}_{13}Al + {}^{4}_{2}He \longrightarrow [{}^{31}_{15}P]^{*} \longrightarrow {}^{30}_{14}Si + {}^{1}_{1}H$$

5- تفاعلات بأشعة جاما Reaction -γ

من تفاعلات أشعة جاما النووية تفاعل جاما – نيوترون Reaction (γ,n) ومن أمثلة هذا التفاعل:

$$^{9}_{4}Be + \gamma \longrightarrow [{}^{9}_{4}Be]^{*} \longrightarrow {}^{8}_{4}Be + 1_{0}n$$

$$^{31}_{15}P + \gamma \longrightarrow [{}^{31}_{15}P]^{*} \longrightarrow {}^{30}_{15}P + {}^{1}_{0}n$$

وعندما تكون طاقة أشعة جاما عالية يمكن حدوث تفاعل جاما – بروتون Reaction (γ,P) .

II.6.المقطع العرضي للتفاعل

يعرف المقطع العرضي بأنه احتمال حدوث التفاعل النووي أي احتمال أسر النواة للجسيم الساقط عليها.

اذا كانت لدينا حزمة من الجسيمات شدتها (I) تسقط على شريحة من مادة الهدف ذات سمك صغير جدا (dt) ومساحة A. إن عدد الجسيمات التي تدخل في التفاعل هي ($-dI$) وتعطى بالعلاقة التالية:

$$-dI = PI \quad \text{.....(II-9)}$$

حيث $-dI$ الجسيمات الداخلة في التفاعل، I الجسيمات التي لم تتفاعل، والإشارة السالبة تعني الشدة تقل بعد التوغل في الشريحة، P هو احتمال حدوث التفاعل و يعطى بالعلاقة:

$$P = \frac{A'}{A} \quad \text{.....(II-10)}$$

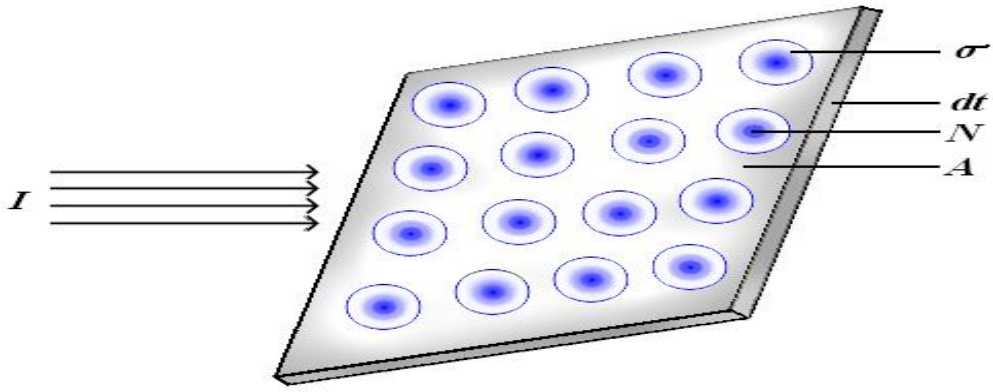
حيث : A' هي مساحة الأنوية مجموعة و متراصة .

A هي المساحة الكلية للشريحة .

وبما أنه لا يوجد فرق بين نواة و أخرى في الشريحة فإننا يمكن أن نوجد المساحة الفعلية لكل نواة ونسميها σ وتعطى بالعلاقة:

$$\sigma = \frac{A'}{A.n.dt} \quad \text{.....(II-11)}$$

حيث n هي عدد الأنوية في الشريحة .



ويعرف σ بأنه المقطع العرضي الميكروسكوبي للتفاعل . وباستخدام العلاقتين (II-10) و (II-11) :

$$P = \frac{An\sigma dt}{A} = n\sigma dt$$

بالتعويض في (II-9) نحصل على :

$$dI = n\sigma I dt$$

$$\Rightarrow \frac{-dI}{I} = n\sigma dt \quad \text{.....(II-12)}$$

وبالتكامل لـ (II-12) نحصل على :

$$\int \frac{-dI}{I} = \int n\sigma dt$$

$$-\ln I \Big|_{I_o}^{I} = n\sigma t$$

$$\frac{I}{I_o} = e^{-n\sigma t}$$

$$\Rightarrow I = I_o e^{-n\sigma t}$$

حيث : I_o عدد الجسيمات الأصلية الساقطة .

I عدد الجسيمات الساقطة بعد مرورها بالسمك t .

t سمك الشريحة .

n عدد الأنوية في وحدة الحجوم .

σ المقطع العرضي الميكروسكوبي للتفاعل بوحدة المساحات ($1Barn = 10^{-24} cm^2$) وهو المساحة التي تحيط بالنواة التي بداخلها يحدث التفاعل .

هناك كمية أخرى تعرف بالمقطع العرضي الماكروسكوبي للتفاعل ويرمز له بالرمز Σ ويعطى بالعلاقة التالية :

$$\Sigma = n\sigma$$

وبالتالي تصبح المعادلة الأخيرة على الشكل :

$$I = I_o e^{-\Sigma t} \quad \text{.....(II-13)}$$

تمارين

التمرين الاول:

اكتب الرموز الناقصة و المشار اليها بالرمز X في التفاعلات النووية التالية

$$^{10}B(X,\alpha)^{8}Be \; , \; ^{17}O(d,n)X \; , \; ^{23}Na(P,X)^{20}Ne \; ,$$

$$X(P,n)^{37}Ar$$

التمرين الثاني:

أحسب أقل طاقة حركية لجسيم α *لبدء التفاعل النووي* $^{7}Li(\alpha,n)^{10}B$

المعطيات :

m_n=1.00866 u , m_p= 1.00728u , m_α =4.00150 u ; m_e =$5.485799.10^{-4}$u

$$M_{^{10}B} = 10.012937u \quad ; \quad M_{^{7}Li} = 7.016004u$$

التمرين الثالث:

احسب طاقة التفاعل $^{14}N(\alpha,p)^{17}O$ *اذا كانت طاقة الحركية لجسيم* α $E_\alpha = 4Mev$ و انطلق البروتون بطاقة $E_p = 3Mev$ عند الزاوية 30^0 مع اتجاه حركة جسيم **α**

المعطيات , $M_{^{17}O} = 16.9991317u$, m_α =4.00150 u , m_p= 1.00728u ,

$$M_{^{14}N} = 14.0030740u$$

التمرين الرابع

إذا كان من الضروري أن تمتلك النيوترونات اقل طاقة الحركية $E_{th} = 4Mev$ لبدء التفاعل $^{11}B(n,\alpha)^{8}Li$

– اوجد طاقة هذا التفاعل

المعطيات : m_n=1.00866 u , m_p= 1.00728u , m_α =4.002603 u ;

$$M_{^{11}B} = 11.009305u \quad ; \quad M_{^{8}Li} = 8.0016004u$$

المحور الثالث
النشاط الاشعاعي

النشاط الإشعاعي

1.III. لمحة تاريخية.

اكتشف النشاط الإشعاعي سنة 1896 من طرف الفيزيائي الفرنسي هنري بيكرل (1852 – 1908)، فلقد وضع في درج واحد الواحد تصويرية مغلقة بورق أسود بالقرب من أملاح اليورانيوم وبينهما رزمة من المفاتيح في علبة معدنية لمدة أسبوع، و كم كانت دهشة كبيرة عندما لاحظ على اللوحة التصويرية بعد غسلها خيالا للمفتاح المعدني، لم يجد تعليلاً لمشاهدته تلك سوى أن أملاح اليورانيوم تصدر إشعاعات قادرة على اختراق الصفائح المعدنية الرقيقة والورق الأسود وتؤثر في لوحة التصوير، وأطلق على ظاهرة الإصدار هذه إسم النشاط الإشعاعي الطبيعي، ويتميز اليورانيوم العنصري و كافة أملاحه بهذا النشاط، و نظرًا لعدم اعتماد النشاط الإشعاعي لليورانيوم على ما يحيط به من ذرات أخرى ولا على بنيته الإلكترونية التي تتبدل من مركب كيميائي إلى آخر قال بيكرل وأيده العلماء في قوله : بأن مقر الإشعاع لا يمكن أن يكون إلاّ نواة ذرة اليورانيوم.

وقد تمكنت ماري كوري (1867 – 1934) و بياركوري من الحصول على عنصرين مشعين أشد نشاطًا من اليورانيوم هما :

البولونيوم : أشد نشاطًا إشعاعيا من اليورانيوم بعشرة آلف مليون مرة.

الراديوم : أشد نشاطًا إشعاعيا من اليورانيوم بعشرين مليون مرة.

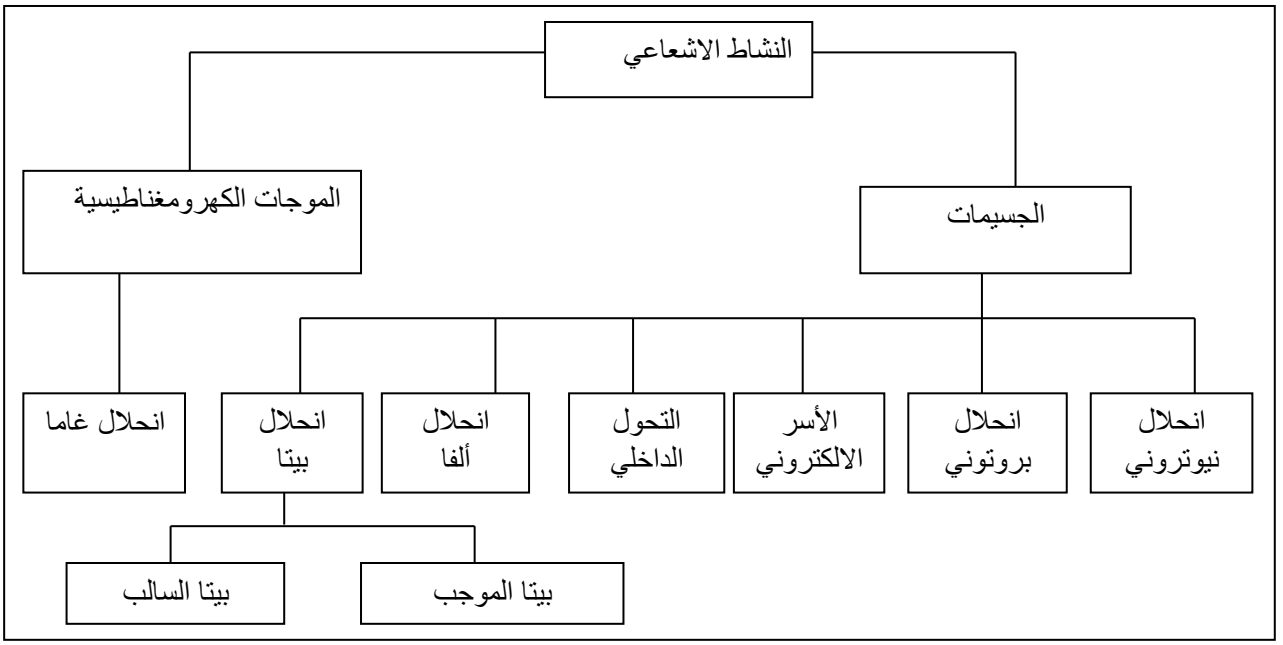
بداخل النواة توجد قوتان؛ قوة تنافر كهربائية بين البروتونات وهي طويلة المدى وقوة نووية جاذبة ولكنها قصيرة المدى وقوية جداً مقارنةً بقوة التنافر الكهربائي للبروتونات، القوة النووية هي المسؤولة

عن جمع البروتونات والنيوترونات داخل النواة وذلك عندما تتغلب القوة النووية على قوة التنافر الكهربائية للبروتونات.

عندما يزداد عدد الجسيمات النووية – البروتونات والنيوترونات – داخل النواة تتنافر البروتونات مبتعدة عن بعضها قدر الإمكان في حدود النواة مما يجعل القوة النووية الجاذبة غير قادرة على جمع الجسيمات النووية كون تأثيرها فقط في المدى القصير، وعندما يزداد عدد البروتونات بشكل كبير – أكثر من 82- تعجز القوة النووية الجاذبة عن جمع الجسيمات النووية داخل النواة وذلك بسبب تجاوز قوة التنافر الكهربائية قوة الجذب النووية وعندها تكون النواة غير مستقرة او نواة مشعة. وهنالك ما يقارب 2700 نواة مشعة معروفة إلى الآن ولكن الموجود في البيئة فقط 65 أما الباقي فهو مصنع في المفاعلات النووية أو المسرعات أو في القنابل النووية أو غيرها من الوسائل.

III.2. تصنف الجسيمات أو الإشعاعات التي تنطلق من النواة

النوبات المشعة تطلق إشعاعات، والإشعاعات أما أن تكون جسيمات أو موجات كهرومغناطيسية وتسمى عملية الإطلاق هذه بالتفكك أو التحلل أو الانحلال الإشعاعي (أنظر المخطط III.1).



المخطط III.1. الانحلال الإشعاعي

عمليات الانحلال الإشعاعي عشوائية بالنسبة لذرة واحدة بحيث لا يمكننا معرفة توقيت انحلال ذرة معين ولكن الذي نعلمه هو تصرف مجموعة كبيرة من ذرات عنصر محدد. ويختلف معدل إطلاق الإشعاع من النواة المشعة فيمكن أن يكون كل ثانية أو كل دقيقة أو كل مئة سنة وذلك اعتماداً على نوع النواة المشعة. وبعد أن تُطلق النواة الإشعاع تصبح النواة أكثر استقرار أو قد تصبح مستقرة تماماً.

التحلل الإشعاعي و التفاعلات النووية موصوفة بواسطة الانتقال من نظام ابتدائي [النواة الأم] إلى نظام نهائي [النواة البنت] وهي تحدث بإحدى الطريقتين:

1. طريقة تلقائية:

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

2. طريقة صناعية:

إذا كانت الطاقة الكلية للنواة الأم أقل من الطاقة الكلية للنواة البنت فإن الانتقال لكي يتم فلا بد من أن تعطى النواة الأم طاقة لكي يحدث الانتقال.

III .3. نظرية التفكك {الانحلال الإشعاعي}

الانحلال الإشعاعي هو احتمالية انحلال أي نواة في فترة قصيرة من الزمن (dt) لا تعتمد على أي التأثيرات الخارجية و التي يضمنها انحلال نواة أخرى. هذا يعني أن كل النوى التي هي من نوع واحد يكون لها نفس احتمالية الانحلال. لذا فان الانحلال الإشعاعي يمكن اشتقاقه كالآتي : إذا فرضنا أن في أي وقت معين (t) توجد (N) ذرة من مادة مشعة , فيكون معدل الانحلال بعد زمن (dt) متناسبا مع عدد الذرات الموجودة أي أن :

$$-\frac{dN}{dt} \alpha N \Rightarrow -\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

إن الإشارة السالبة تشير إلى أن هناك نقصا بقيمة (N) كلما زادت (t)

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

$$\int_{N}^{N} \frac{dN}{N} = \int \lambda dt$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad .....(III.1)$$

حيث :

$N(t)$: عدد الأنوية التي لم تتفكك بعد فترة زمنية .

N_0 : العدد الابتدائي للأنوية .

λ : ثابت التفكك .

III.4.ويقاس النشاط الإشعاعي " بالشدة الإشعاعية " وهي معدل تغير العدد الذي يتفكك مع الزمن

ومن الممكن حسابها على النحو التالي:

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

$$t = 0 \qquad N = N_0 \rightarrow A_0 = \lambda N_0$$

إذاً الشدة الإشعاعية تعطى بالمعادلة:

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad .....(III.2)$$

حيث :

A_0 : الشدة الإشعاعية الابتدائية و تساوي : λN_0

A : الشدة الإشعاعية بعد مرور فترة زمنية .

إن وحدات النشاط الإشعاعي (الفعالية) هي (التحلل/ ثانية) أو($\frac{dis}{s}$)(Disintegration/sec

واختصر الى dps

واتخذت فيما بعد الكوري (Curie) او(Ci) كوحدة لقياس النشاط الإشعاعي وتعرف بأنها النشاط الإشعاعي لغرام واحد من الراديوم ($^{226}_{88}Ra$) وقيمتها هي :-

$$1\ Ci = 3.7 \times 10^{10} \quad (dis\ /sec)\ or\ (dps)$$

وهناك وحدة أخرى للنشاط الإشعاعي تسمى الرذرفورد rd

$$rd = 10^{6}\ dis/sec = 1\ Dps$$

ووحدة أخرى تسمى بيكريلBq

حيث

$$Bq = 1 \quad dps$$

$$1\ Bq = 3.7x10^{-10}\ \ Ci$$

$$1\ KBq = 2.7x10^{-8}$$

$$1\ MBq = 2.7x10^{-5}$$

$$1\ Ci = 3.7x10^{10}\ Bq$$

$$1\ mCi = 3.7x10^{7}\ Bq$$

$$1\ \mu Ci = 3.7x10^{4}\ Bq$$

جدول (1.III) التحويلات الرياضية.

المصطلح	الاختصار	القيمة
الفيمتو Femto	F	10^{-15}
البيكو Pico	P	10^{-12}
النانو Nano	N	10^{-9}
الميكرو Micro	μ	10^{-6}

10^{-3}	m	المللي Milli
10^{3}	K	الكيلو Kilo
10^{6}	M	الميجا Mega
10^{9}	G	الجيجا Giga
10^{12}	T	التترا Tetra

وتعرف **الفعالية الإشعاعية النوعية (Specific Radiation Activity)** (SA): بأنها عدد الكوري (أو البيكرل) لوحدة الكتلة أو الحجم من المادة المشعة

$$(SA) = A / m = A / V$$

وحداتها (Bq / kg) or (Ci /g)

III.4.عمر النصف ($t_{1/2}$)

- هنالك كمية مهمة هي نصف العمر و تعرف على أنها " الزمن اللازم لتحلل نصف العدد الموجود في نويات المادة المشعة ويرمز لها بالرمز $t_{1/2}$.
- ولحساب قيمة نصف العمر , نعتبر تعريف نصف العمر كالتالي :

$$\frac{N(t_{1/2})}{N_o} = \frac{1}{2}$$

وبالتعويض في العلاقة 3 نحصل على:

$$\frac{N(t_{1/2})}{N_o} = e^{-\lambda t}$$

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

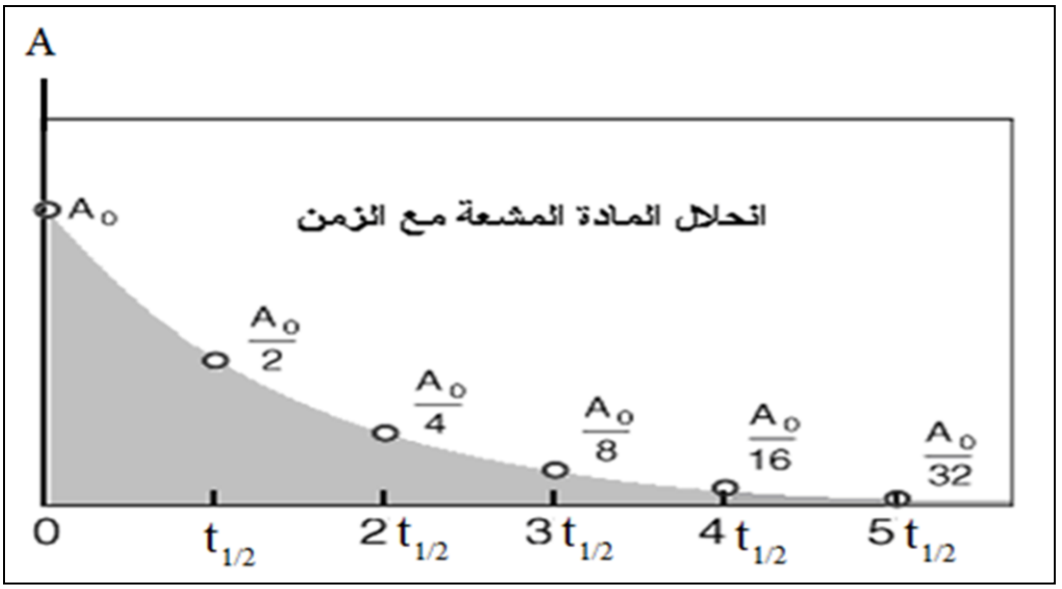
بأخذ ***ln*** الطرفين نحصل على :

$$\ln \frac{1}{2} = \ln e^{-\lambda t_{1/2}}$$
$$\ln 2^{-1} = -\lambda t_{1/2}$$
$$-\ln 2 = -\lambda t_{1/2}$$
$$\ln 2 = \lambda t_{1/2}$$
$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$
$$t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (III.4)$$

من الواضح انه بعد الفترة الزمنية $t_{1/2}$ يبقى نصف عدد الذرات (النوى) المتواجدة في بداية الإشعاع وبعد مرور فترة زمنية $2t_{1/2}$ يبقى ربع عدد الذرات (النوى) المتواجدة في بداية الإشعاع وهكذا

ويعرف متوسط عمر (معدل عمر) النظير المشع بانه :

$$T = \frac{1}{\lambda} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\



الشكل 1.III العلاقة بين النشاط الاشعاعي بدلالة الزمن

مثال 2:

لدينا عينة من الكوبلت 60 كتلتها $m_0 = 200mg$ عند اللحظة $t = 0$.

- بعد كم من الزمن تصبح كتلة العينة $m = 10mg$ ؟

ثابت النشاط الإشعاعي $\lambda = 0{,}13an^{-1}$

الحل:

$$N(t) = N_0\, e^{-\lambda t}$$
$$N(t) \cdot m_{noyau} = N_0 \cdot m_{noyau}\ e^{-\lambda t}$$
$$m(t) = m_0\ e^{-\lambda t}$$

$$e^{\lambda t} = \frac{m_0}{m(t)}$$
$$\ln e^{\lambda t} = \ln \frac{m_0}{m(t)}$$
$$\lambda t = \ln \frac{m_0}{m(t)}$$

$$t = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{m_0}{m(t)}$$
$$= \frac{1}{0.31} \cdot \ln \frac{200}{10}$$

$$t = 23{,}04\, ans$$

مثال 3-:

احسب ثابت الانحلال الاشعاعي لانحلال الثوريوم – 232 اذا علمت ان معدل الانحلال له 309 انحلال بالدقيقه ووزنه 1.27 mg؟

مثال 4- :

1- عبر عن النشاط اللحظي لعينة $A(t)$ بدلالة عدد الأنوية اللحظي $N(t)$ و ثابت النشاط الإشعاعي λ .

2- إستنتج عبارة $A(t)$ بدلالة λ ، t و A_0 حيث A_0 هو نشاط العينة عند اللحظة $t=0$.

3- إستنتج عبارة $A(t)$ بدلالة τ ثابت التفكك حيث $\tau=\frac{1}{\lambda}$ ، t و A_0

الحل :

1- النشاط اللحظي لعينة $A(t)$

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

2- عبارة $A(t)$ بدلالة λ ، t و A_0

عند اللحظة $t=0$ يكون $A(t)=\lambda N_0 e^0=\lambda N_0$ وبالتعويض في المعادلة العامة نجد :

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

3- عبارة $A(t)$ بدلالة τ

$$A(t)=A_0 e^{-t/\tau}$$

مثال 5- عداد جيجر موجود أمام منبع مشع يسجل 500 تفكك في الدقيقة ، بعد $24h$ سجل 320 تفكك في الدقيقة . - أحسب ثابت النشاط الإشعاعي λ للنواة المشعة المدروسة وثابت التفكك τ

الحل :

لدينا النشاط الإبتدائي $A_0 = \frac{500}{60} = \frac{50}{6}\ Bq$ ، والنشاط عند $t = 24h$ هو $A(24) = \frac{320}{60} = \frac{32}{6} Bq$

$$e^{\lambda t} = \frac{A_0}{A(t)}$$

$$\lambda t = \ln \frac{A_0}{A(t)}$$

$$\lambda = \frac{1}{t} . \ln \frac{A_0}{A(t)} \quad .$$

$$\lambda = \frac{1}{24} . \ln \frac{50/6}{32/6}$$

$$\lambda = 0,0186\ an^{-1}$$

ومنه :

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,0186} = 53,38 ans$$

مثال6: اوجد الزمن اللازم لكي تنقص كتلة ^{22}Na مقدارها (5mg) الى (1mg) مع العلم ان عمر النصف ل ^{22}Na يساوي (2.6) سنة ؟

الحل:

$$m = m_o e^{-\lambda t}$$

$$\frac{m}{m_o} = e^{-\lambda t}$$

$$\ln \frac{m_o}{m} = \lambda t$$

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{m_o}{m}$$

لدينا :

$$\lambda = \frac{0.693}{t_{1/2}}$$

λ = o.693/2.6 =0.2665 y^{-1}

$$t = \frac{1}{0.2665\ y^{-1}} \ln \frac{5\ mg}{1\ mg}$$

t =6.039 year

مثال7:عينة من $^{13}_{7}N$النقي كتلتها (1.49 µg) اذا علمت ان عمر النصف ل $^{13}_{7}N$ هو (10 min).

اوجد :

1) عدد النوى الموجودة ابتدائياً في العينة.

2) الفعالية الابتدائية للعينة بوحدات (dps)

3) فعالية العينة بعد مرور ساعة واحدة , علماً ان عدد افوكادرو يساوي ($6.023\times10^{23}\ mol^{-1}$).

الحل:

1- $N_o = (m_o\ N_A) / A$

$N_o = (1.49 \times 10^{-6} \times 6.023\times10^{23)} / 13 = 6.9 \times 10^{16}$ Nuclei (atom)

2- $A_o = \lambda\ N_o$

λ = Ln 2/ $t_{1/2}$ = o.693 /10 × 60 = 1.155×10^{-3} sec. $^{-1}$

$A_o = 1.155 \times 10^{-3} \times 6.9 \times 10^{16} = 7.69 \times 10^{13}$ dps

3- $A = A_0 (e^{-\lambda t}) = 7.69 \times 10^{13} \times e^{-(1.155 \times 10-3 \times 60 \times 60)} = 0.1246 \times 10^{13}$ dps

III.2.4. تعيين عمر النصف بالطرق البيانيه :

1 – يقاس النشاط الاشعاعي A للصنف المشع بمدد زمنيه مختلفه

2 – يسقط الزمن على المحور X

3 – يستخرج ln A ويسقط على المحور Y لكل مده زمنيه

4 – نقطة تقاطع المستقيم المستخرج مع المحور Y تمثل $\ln A_O$

5 – من معادلة النشاط الاشعاعي :

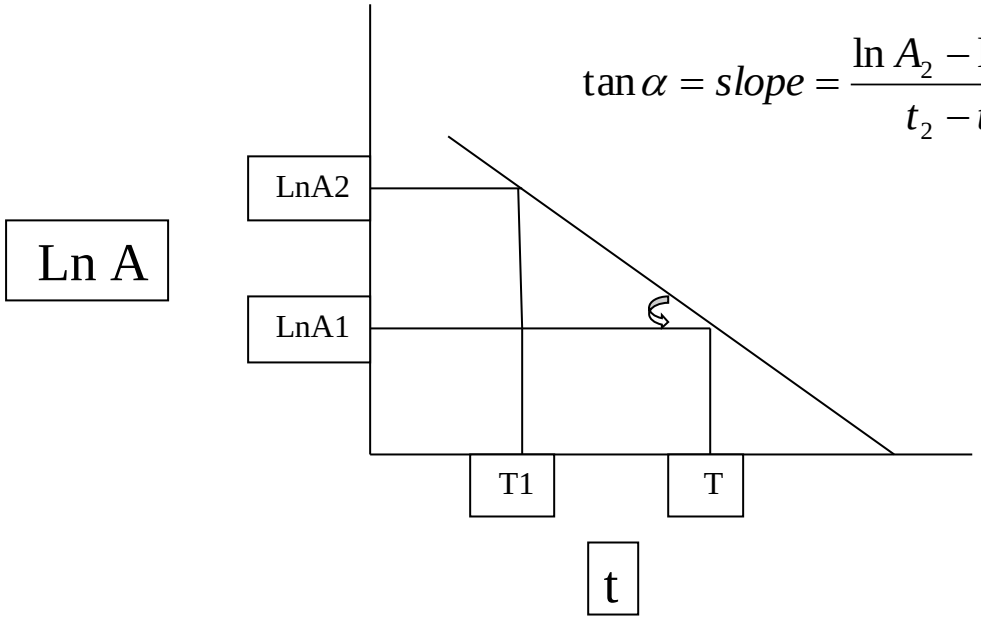
$$A = A_O\, e^{-0.6931\, t/t_{0.5}}$$

وباخذ ln لطرفيها

$$\ln A = \ln A_O - \frac{0.6931 \times t}{t_{\frac{1}{2}}}$$

من المعادله أعلاه إن ميل المستقيم الناتج هو المقدار $\frac{0.6931}{t_{\frac{1}{2}}}$ ومنه يمكن حساب عمر النصف

$$\tan\alpha = slope = \frac{\ln A_2 - \ln A_1}{t_2 - t_1} = \frac{0.6931}{t_{\frac{1}{2}}}$$



الشكل III.2. تغير عدد ذرات مادة مشعة مع الزمن

ويمكن حساب عمر النصف من الرسم حيث انه عند $t_{0.5}$ فان :

$$A = \frac{1}{2} A_O$$

وباخذ ln للطرفين

$$\ln A = \ln \frac{1}{2} A_O$$

نستخرج $1/2\ A_O$ ومنها نستخرج $\ln 1/2\ A_O$

نسقط قيمته على المحور Y ونمد من هذه النقطه خط مستقيم سيتقاطع مع الخط المائل ومن نقطة التقاطع نمد مستقيم على المحور X فنقطة التقاطع هي $t_{0.5}$

III.5. متوسط اعمار الذرات المنحله :

ان الذرات المنحله لاتنحل بمعدل ثابت فبعضها ذات زمن انحلال طويل والاخر غايه في القصر لذلك وجد مصطلح متوسط للذرات المنحله (T) , فمتوسط العمر يساوي حاصل قسمة تكامل تلك الاعمار على عددها الابتدائي (N_O) :

$$T = \frac{\int_{t=o}^{t=\infty} \lambda t N_O e^{-\lambda t} dt}{N_O} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (III.7)$$

وبحل هذه المعادله رياضيا نجد ان :

$$T = 1.44\ t_{0.5} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (III.8)$$

<u>مثال :</u>

أحسب الشدة الاشعاعية الابتدائية لواحد غرام من الراديوم – 226 المشع الذي له عمر نصف 1620 سنة .

الحل :

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$$
$$\lambda = \frac{0.693}{t_{1/2}}$$
$$= \frac{0.693}{1620 \times 12 \times 30 \times 24 \times 60 \times 60}$$
$$\therefore \lambda = 1.38 \times 10^{-11} Sec^{-1}$$

عدد الانوية المشعة فى 1g من الراديوم .

$$N_O = \frac{N_A}{A} \times 1g = \frac{6.02 \times 10^{23}}{226}$$
$$= 2.66 \times 10^{21}.$$

و الشدة الإشعاعية الابتدائية هي :

$$A = N_O \lambda e^{-\lambda t}$$
$$A = A_O e^{-\lambda t}$$

من العادلتين نحصل على :

$$A_O = \lambda N_O$$
$$= 1.38 \times 10^{-11} \times 2.66 \times 10^{21} \approx 3.7 \times 10^{10} cont/\sec \approx 1Bq$$

III.6. 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 :

$$X_{Z_1}^{A_1} \xrightarrow{\lambda_1} X_{Z_2}^{A_2} \xrightarrow{\lambda_2} X_{Z_3}^{A_3} + Radiation$$

هنا لدينا عنصراً مشعاً $X_{Z_1}^{A_1}$ تفكك بثابت λ_1 لينتج عنصراً آخر $X_{Z_2}^{A_2}$ مشعاً و يتفكك أيضاً بثابت تفكك λ_2 ليشكل عنصراً مستقراً $X_{Z_3}^{A_3}$.

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

$$\left.\begin{aligned} \frac{dN_1}{dt} &= -\lambda_1 N_1 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1) \\ \frac{dN_2}{dt} &= \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \ldots\ldots(2) \\ \frac{dN_3}{dt} &= \lambda_2 N_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3) \end{aligned}\right\}$$

لحل هذه المعادلات البسيطة لابد من معرفة عدد انوية الابتدائية في كل عينة و لنفترض أن عدد الانوية للنظائر الثلاث كانت على الترتيب N_{01}, N_{02}, N_{03} عند الزمن t=0

إيجادا عدد ذرات النظير الأول (النظير الأم)

$$\frac{dN_1}{N_1} = -\lambda_1 dt \rightarrow \ln N_1 = -\lambda_1 t + C$$

يمكن إيجاد قيمة C من الشروط الجديدة للمسالة

$$t = 0 \rightarrow N_1 = N_{01} \rightarrow C = \ln N_{01}$$

$$\ln N_1 - \ln N_{01} = -\lambda_1 t = \ln \frac{N_1}{N_{01}}$$

$$N_1 = N_{01} e^{-\lambda_1} t \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (III.9)'$$

ايجاد عدد ذرات النظير الثاني (النظير الوليد)

$$\frac{dN_2}{N_1} + \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_{01} e^{-\lambda_1 t}$$

$$e^{\lambda_2 t} \frac{dN_2}{N_1} + \lambda_2 N_2 e^{\lambda_2 t} = \lambda_1 N_{01} e^{-\lambda_1 t} e^{\lambda_2 t}$$

$$\frac{d}{dt}\left(N_2 e^{\lambda_2 t}\right) = \lambda_1 N_{01} e^{(\lambda_2-\lambda_1)t}$$

بالتكامل نجد

$$\int d\left(N_2 e^{\lambda_2 t}\right) = \lambda_1 N_{01} \int e^{(\lambda_2-\lambda_1)t} dt$$

$$\left(N_2 e^{\lambda_2 t}\right) = \frac{\lambda_1}{\lambda_2-\lambda_1} N_{01} e^{(\lambda_2-\lambda_1)t} + C$$

إيجاد قيمة C من الشروط الحدية $t = 0 \rightarrow N_2 = N_{02}$

$$N_{02} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2-\lambda_1} N_{01} + C \rightarrow C = N_{02} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2-\lambda_1} N_{01}$$

$$\left(N_2 e^{\lambda_2 t}\right) = \frac{\lambda_1}{\lambda_2-\lambda_1} N_{01}(-1 + e^{(\lambda_2-\lambda_1)t}) + N_{02}$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2-\lambda_1} N_{01}(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_{02} e^{-\lambda_2 t} \quad \text{.....} (III.10)'$$

إيجاد عدد ذرات النظير من خلال حل المعادلة رقم (3)

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 = \frac{\lambda_2\lambda_1}{\lambda_2-\lambda_1} N_{01}(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + \lambda_2 N_{02} e^{-\lambda_2 t}$$

$$N_3 = \int dN_3 = \frac{\lambda_2\lambda_1}{\lambda_2-\lambda_1} N_{01}\left[\int e^{\lambda_1 t} dt - \int e^{\lambda_2 t} dt\right] + \lambda_2 N_{02} \int e^{-\lambda_2 t}\, dt$$

$$N_3 = \frac{N_{01}}{\lambda_2-\lambda_1}(-\lambda_2 e^{-\lambda_1 t} + \lambda_1 e^{-\lambda_2 t}) - N_{02} e^{-\lambda_2 t} + C$$

حيث C قيمة ثابتة يمكن تحديدها من الشروط الحدية

$$t = 0 \rightarrow N_3 = N_{03}$$

$$N_{03} = \frac{N_{01}}{\lambda_2-\lambda_1}[1-1] - N_{02} + C \rightarrow C = N_{02} + N_{03}$$

بالتعويض قيمة C نجد

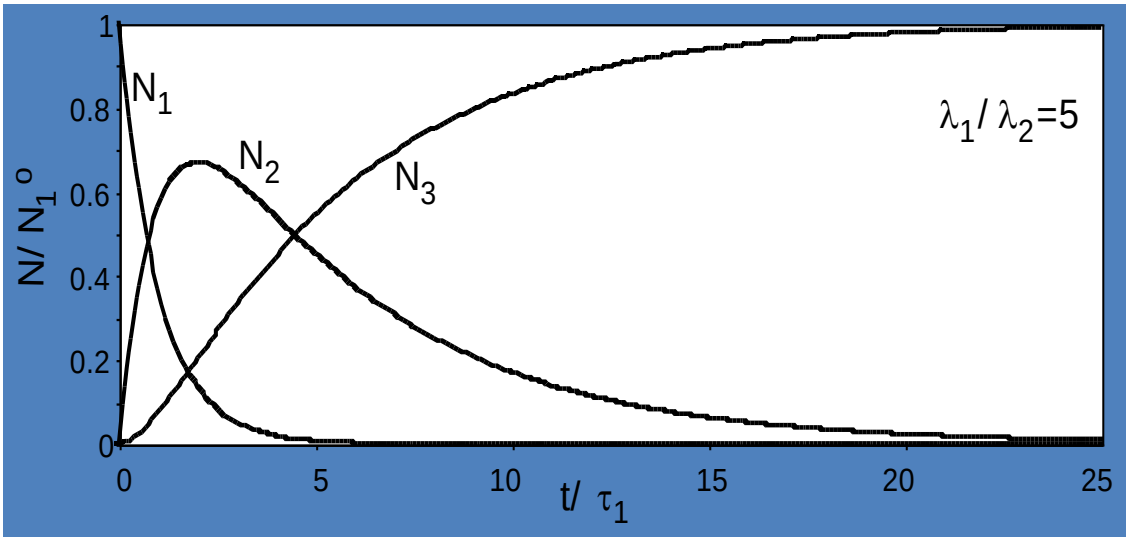
$$N_3 = \frac{N_{01}}{\lambda_2-\lambda_1}(-\lambda_2 e^{-\lambda_1 t} + \lambda_1 e^{-\lambda_2 t}) + N_{02}(1 - e^{-\lambda_2 t}) + N_{03} \text{.....} (III.11)'$$

من خلال المعادلات (1)', (2)', (3)' يمكن معرفة عدد انوية أي نظير مشع من مكونات العينة الثلاث بعد مرور أي فترة زمنية t الجدير بالذكر أن المعادلتين (2)', (3)' لا يمكن استخدامها إذا كان $\lambda_1 = \lambda_2$ وهذا نادر الوجود بين النظائر المشعة أن يتساوى فترتي عمر النصف و بالتالي ثوابت الاضمحلال النووي للنواة الأم و الابنة .

اذا كانت العينة محل الدراسة نقية تماما عند بدء التجربة فلا بد من وضع قيمتي N_{02} و N_{03} مساويا للصفر في المعادلتين (2)', (3)' وهكذا تختزل قيمتي N_2 , N_3 كدالة في الزمن .

يمكن استخدام الرسم البياني لتمثيل مدى تطور عدد الانوية من النظائر الثلاث .

و يشترط عند استخدام الرسم البياني ان تكون فترات النصف (عمرالنصف) للنظائر متقاربة.

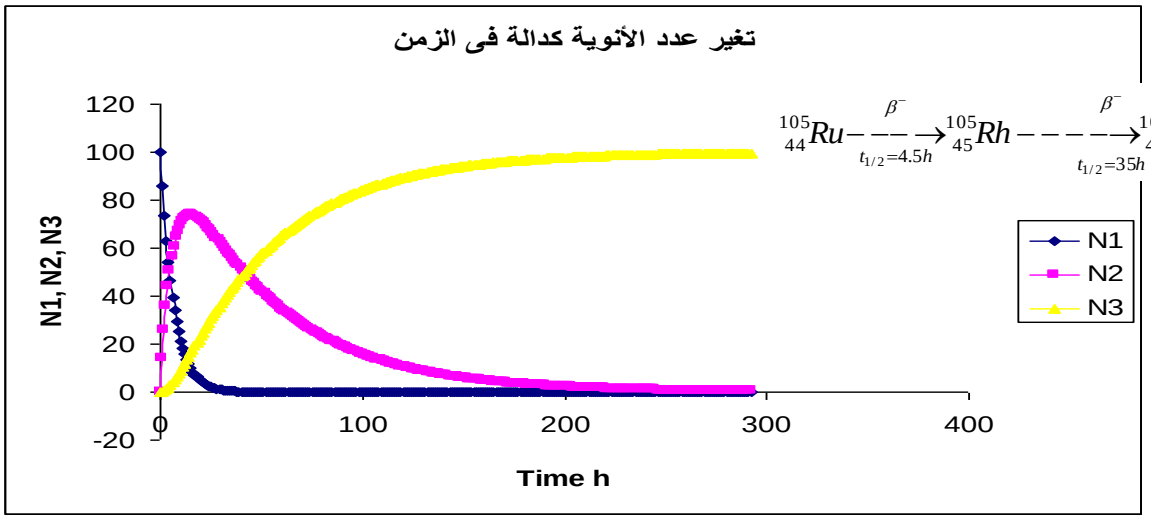


الشكل III.3. العلاقة بين النشاط الاشعاعي بدلالة الزمن

- عدد انوية الأم N_1 في تناقص مستمر .
- عدد انوية الابنة N_2 في تزايد من الصفر حتئ تصل لقيمة عظمى و تبدا في تناقص .
- عدد انوية الحفيدة N_3 في تزايد مستمر .

مثال :

الروتينيوم 105 يتحول الى الروديوم 105 وهذا بدوره يتحول الى البلاديوم 105 المستقر (الشكل)



الشكل III.4. العلاقة بين النشاط الاشعاعي بدلالة الزمن

III.7. التوازن الإشعاعي

يقصد بالتوازن الإشعاعي عدم تغير نسب الانوية المشعة في العينة الواحدة بمرور الزمن و لكن من سمات الانوية المشعة التحلل أي أن عدد الانوية لأي نظير مشع في السلسلة إشعاعية ماعدا النظير الأم يكون حاصل عمليتين :

- الزيادة القادمة بواسطة النظير الأم = $\lambda_1 N_1$

- التناقص نتيجة تحلل بعض الانوية الممثلة للنظير وهذا التناقص يساوي $\lambda_2 N_2$.

وهكذا نجد أن التوازن الإشعاعي بين أعضاء السلسلة الإشعاعية يحدث عندما يتساوى معدلات تغير عدد الانوية لكل نظير بالنسبة للزمن مع النظائر الأخرى أي أن

$$\frac{dN_1}{dt} = \frac{dN_2}{dt} = \frac{dN_3}{dt} = \ldots\ldots\ldots = 0$$

نلاحظ أن جميع الأطراف تساوي تقريبا الصفر (كمية ثابتة صغيرة جدا) و لكنها لا تساوي الصفر مطلقا لماذا

إذا أخذنا النظير الأول نجد $\frac{dN_1}{dt} = \lambda_1 N_1 = 0$ وهذا لا يحدث إلا إذا كانت $\lambda_1 = 0$ وهذا يعني أن $T_{1/2} = \frac{0.693}{0} = \infty$ و بالتالي يكون النظير مستقر و حيث انه مشع فلا بد أن تقترب λ من الصفر و لا تساويه.

أما بالنسبة لباقي أعضاء السلسلة فيمكن أن يتساوى معدل التغير بالصفر و هذا يعني ان معدل التكوين ومعدل التحلل متساويان $\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2$ عندما $\frac{dN_2}{dt} = 0$.

ملاحظة لا ينطبق ذلك على العنصر الأخر من أي سلسلة إشعاعية.لماذا

التوازن الإشعاعي يحدث في إحدى الصورتين

- التوازن الإشعاعي الانتقالي
- التوازن الإشعاعي الأبدي.

III.1.7. التوازن الإشعاعي الانتقالي

يحدث هذا التوازن بين نوى العناصر المشعة الأم و النظائر الوليدة إذا كانت فترة عمر النصف للنواة الأم كبيرة نسبيا مقارنة بفترة عمر النصف للنواة الوليدة .

$$(T_{1/2})_1 \succ (T_{1/2})_2 \rightarrow \lambda_1 \prec \lambda_2$$

بشرط ألا نقترب λ_1 من الصفر.

- يمكن حساب عدد انويه النظير الوليد بدلالة عدد انويه العنصر (النظير) الأم من خلال المعادلات (1) (2) مع إجراء بعض التقريبات كالآتي

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{01}\left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}\right) + N_{02} e^{-\lambda_2 t}$$

و بفرض أن $N_{02} = 0$ (كانت العينة نقية و مكونة من N_1 فقط عند بداية التجربة) عندئذ يسقط الحد الأخير من الطرف الأيمن $N_{02} e^{-\lambda_2 t} = 0$.

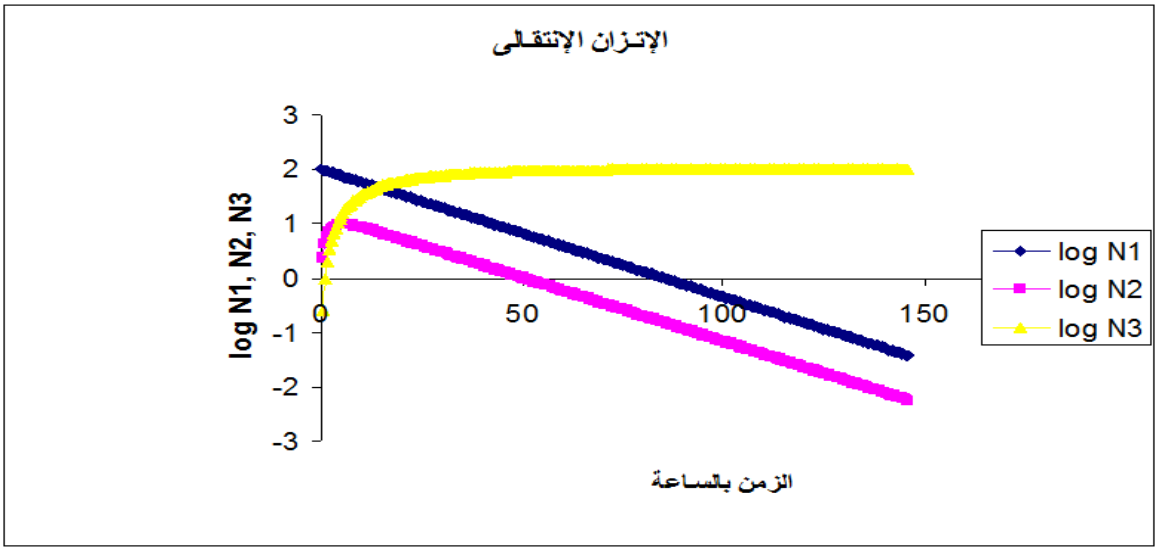
حيث أن $\lambda_2 \succ \lambda_1$ فان معدل الانهيار في قيمة $e^{-\lambda_2 t}$ يكون أسرع مما يحدث في قيمة $e^{-\lambda_1 t}$ وخاصة عند زيادة الزمن t وهكذا نجد انه يمكن إهمال $e^{-\lambda_2 t}$ مقارنة ب $e^{-\lambda_1 t}$ بعد زمن مناسب يتوقف على $(T_{1/2})_1, (T_{1/2})_2$ و بالتالي فان عدد انويه النظير الابنة هي

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{01} e^{-\lambda_1 t}$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1 \rightarrow \underbrace{\lambda_2 N_2}_{A_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \underbrace{N_1 \lambda_1}_{A_1}$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_2} = \left(1 - \frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right) \quad .....(III.12)$$

حيث A_1, A_2 هي كفاءة النشاط الإشعاعي للنوى الأم و الوليدة على الترتيب و هكذا يمكن توقع أن الشدة الإشعاعية للنوي الوليدة تصبح أعلى من الشدة الإشعاعية للنوى الأم عند حدوث توازن مرحلي (انتقالي).



الشكل III.5. تحول النشاط الإشعاعية من نواة الأم الى الوليدة

ويسمى هذا الإتزان **بالإتزان العابر** حيث أن النشاط الإشعاعي للوليدة ينمو حتى يفوق النشاط الإشعاعي للوالدة وبعد ذلك يصبح معدل النشاط الإشعاعي للوليدة إلى معدل النشاط الإشعاعي

للأصل يساوي مقدار ثابت. ويمكن حساب الزمن اللازم للوليدة ليكون نشاطها الإشعاعي أعلى قيمة λ_{max} من المعادلة:

$$T_{max} = 1/(\lambda_2 - \lambda_1) \ln \lambda_2/\lambda_1$$

$$^{140}_{56}Ba \xrightarrow{\beta^-} {}^{140}_{57}La \xrightarrow{\beta^-} {}^{140}_{56}Ce\ (Stable)$$

$T_{1/2}(1) = 12.8$ day $\quad T_{1/2}(2) = 40$ hours

$$^{95}Zr \xrightarrow[64d]{\beta} {}^{95}Nb \xrightarrow[515d]{\beta} {}^{95}Mo\ (stable)$$

$$^{88}Kr \xrightarrow[2h]{\beta^-} {}^{88}Rb \xrightarrow[20min]{\beta^-} {}^{88}Sr\ (Stable)$$

2.7.III. التوازن الاشعاعي الابدي

يحدث هذا النوع من التوازن عندما يكون عمر النصف للنظير الام كبير جدا مقارنة بعمر النصف للنظير الابنة (الوليدة)

$$(T_{1/2})_1 \succ\succ (T_{1/2})_2 \rightarrow \lambda_1 \prec\prec \lambda_2$$

و بالتالي قد تقترب λ_1 من الصفر أي أن $e^{-\lambda_1 t} = 1$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{01}\left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}\right) + N_{02} e^{-\lambda_2 t}$$

$N_{02} e^{-\lambda_2 t} = 0$ عندما تكون العينة تقية في بداية التجربة (N_{02})

حيث ان $\lambda_1 \prec\prec \lambda_2$ فيمكن اعتبار ان $\lambda_2 \approx \lambda_2 - \lambda_1$

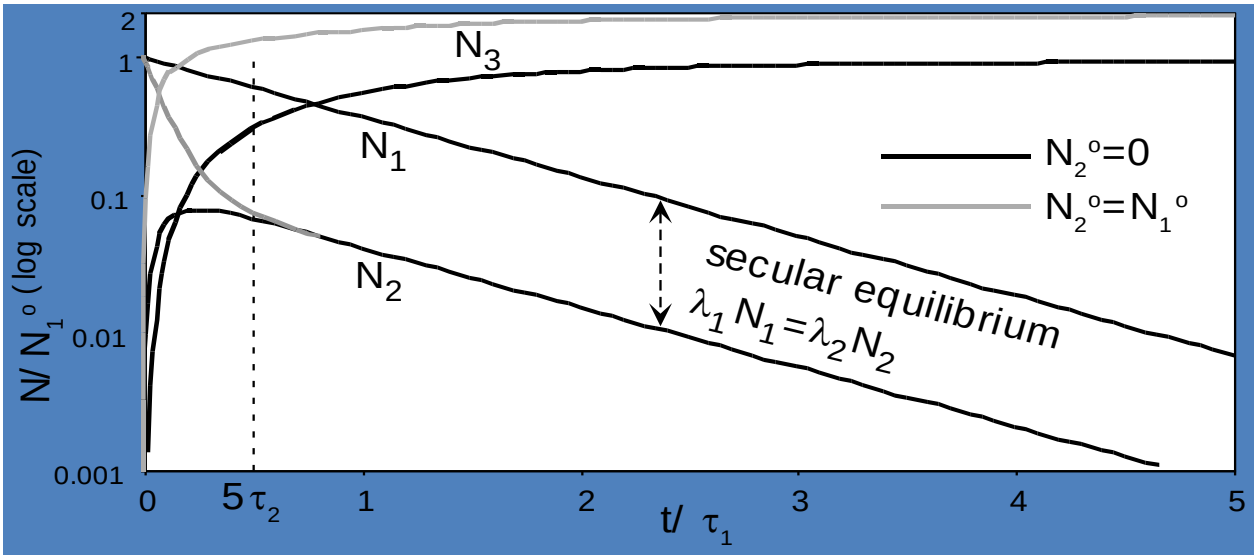
$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_{01}\left(1 - e^{-\lambda_2 t}\right)$$

$\lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_{01}\left(1 - e^{-\lambda_2 t}\right) \rightarrow$ عندما تكون t صغيرة

و لكن عندما تزداد الفترة الزمنية النقطتين نجد ان قيمة $e^{-\lambda_2 t}$ تقارب الصفر

$$\lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_1 \rightarrow A_2 = A_1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (III.13)$$

وهكذا نجد ان من سمات التوازن الابدي ان الشدة الاشعاعية للنوى الوليدة تكافئ تماما الشدة الاشعاعية للنوى الام.



الشكلIII.6. تحول النشاط الإشعاعية من نواة الأم الى الوليدة

ومن أمثلة هذا النظام (الإتزان):

$$^{137}Cs \xrightarrow[30\ y]{\beta^-} {}^{137}Ba \xrightarrow[26min]{\gamma} {}^{137}Ba\ (Stable)$$

$$^{90}_{38}Sr \xrightarrow[28.1]{\beta^-} {}^{90}_{39}Y \xrightarrow[64\ h]{\beta} {}^{90}_{40}Zr$$

ملاحظة :

الحالة الثالثة: اللاإتزان Non Equilibrium

عندما يكون عمر النصف للوليدة أكبر من عمر النصف للوالدة (الأصل) في هذه الحالة يزداد نشاط الوليدة إلى قيمة أعلى وتنحل بعدها بثابت إنحلال خاص بها، أما الوالدة فتتفكك بسرعة وتنتهي بعد زمن معين وتبقى الوليدة.

$T_{1/2}\ (1) < T_{1/2}\ (2$

$\lambda_1 > \lambda_2$

مثال 1:

اذا كان عدد ذرات الراديوم 226 في عينة من املاح اليورانيوم تقدر ب 10^6 *2.8 ذرة يورانيوم مقابل ذرة واحدة من الراديوم . فكم يبلغ عمر النصف لليورانيوم اذا كان $T_{1/2}$ للراديوم 1630عام

الحل :

$$\lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_1 \rightarrow A_2 = A_1$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{(T_{1/2})_1}{(T_{11/2})_2} \rightarrow (T_{1/2})_1 = 2.8\times10^6 \times 1630 = 4.564\times10^9 ans$$

مثال 2 :

يتحول الراديوم 226 إلى رادون 222 بإطلاق جسيمات ألفا فإذا كان عمر النصف للراديوم 1630 عام بينما يبلغ 2.825 يوم للرادون فمتى يحدث توازن ابدي بين النظيرين .

III.8. تحلل جسيمات بيتا (β)

هناك ثلاثة طرق تضمحل (تنحل) فيها بعض النوى ببعث جسيمات β هي:

أ) انبعاث جسيمات بيتا السالبة β^- وفيها تضمحل النوى ببعث الالكترونات السالبة (سميت بيتا السالبة لان منشئها النوى).

ب) انبعاث جسيمات بيتا الموجبة β^+ وفيها تضمحل أو تنحل النوى ببعث البوزترونات (الكترونات موجبة).

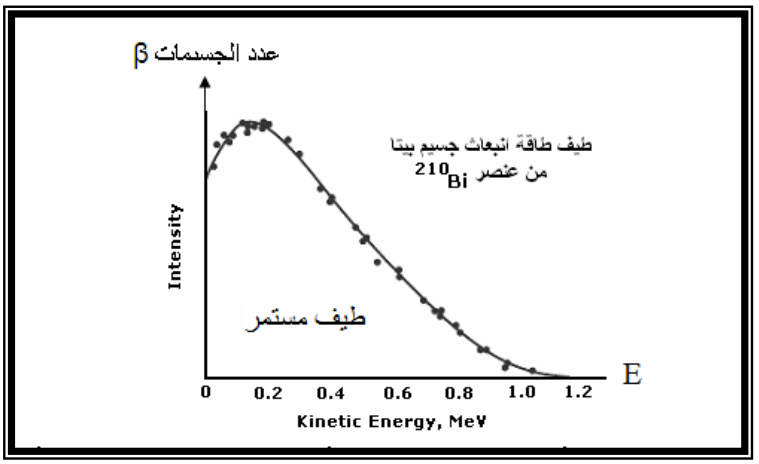
ج) اسر الإلكترون أو اقتناص الإلكترون (Electron Capture) وفيها تضمحل أو تنحل النواة بأسر أحد الالكترونات المدارية من قبل النواة (الإلكترون سوف يختفي وتتحول كتلته الى طاقة). يحدث اسر الإلكترون في العناصر الثقيلة لان الكترونات المدارات الخارجية تكون قريبة من النواة.

إن الإلكترون و البوزترون لايمكن أن يتواجدان داخل النواة. لذلك فانه في اللحظة التي يتكون فيها الإلكترون البوزترون داخل النواة فان النواة تنحل وتبعث الإلكترون او البوزترون الى الخارج.

لذا يفترض إن الإلكترون اوالبوزترون يتكون في الوقت الذي تنحل فيه النواة ثم يخرج الإلكترون او البوزترون مباشرةً من النواة.

III.8.1. طيف جسيمات β

يمتاز طيف الطاقة بالنسبة لجسيمات بيتا بنوعيها (β^+, β^-) والمنبعثة من نواة نشطة إشعاعياً بكونه طيفاً مستمراً، ويلاحظ أن للمنحني نهاية عظمى محددة للطاقة يطلق عليها اسم طاقة النقطة النهائية أو الطاقة العظمى ، وتتراوح طاقة جسيمات بيتا من الصفر الى الطاقة العظمى (k_{max}) .



الشكلIII.7. العلاقة بين عدد جسيمات β المنبعثة من مصدر مشع و طاقتها الحركية

فرضية النيوترينو ونظرية انحلال أو اضمحلال بيتا :-

اقترح باولي عام 1930 فرضية النيوترينو التي أكدت على وجوب انبعاث جسيم أخر في انحلال بيتا وسمي بالنيوترينو ويرمز له (v)، وذلك لحل المشكلات المتعلقة بقوانين (حفظ الطاقة, حفظ كمية الحركة الخطي, حفظ كمية الحركة الزاوي) ولكي تتحقق متطلبات انحلال بيتا يجب أن يتصف النيوترينو بالصفات التالية:

أ) كتلته السكونية تساوي صفر، وذلك لكي تكون الطاقة الحركية العظمى لجسيم β المنبعث (طاقة النقطة النهائية) مساوية إلى طاقة انحلال β .

$$m_{\nu}\langle\frac{1}{2000}me$$

ب) شحنته تساوي صفر لان الشحنة هي محفوظة بدونه.

ج) برمه($\frac{1}{2}$) و وزخمه الزاوي ($\frac{\hbar}{2}$) وذلك لكي يتساوى كمية الحركة الزاوي البرمي للمجموعة قبل وبعد الانحلال

والنيوترينو ومع ان النيوترينو كان قد افترض وجوده الا انه تم اثباته عملياً (تجريبياً) ، الإلكترون والبوزترون لا يتواجد داخل النواة وإنما يتولد خلال عملية الاضمحلال (الانحلال) وفي الحال ينبعث إلى الخارج، وكما هو معروف أن البوزترون هو جسيم مضاد للالكترون كذلك هناك جسيم مضاد للنيوترينو هو مضاد أو ضديد النيوترينو ويرمز له (v^-) ويتصف بجميع صفات النيوترينو (كتلته السكونية وشحنته وبرمه).

يمكن تفسير الانحلال بانبعاث β^- و β^+ و الأسر الالكتروني

أ) **انبعاث** (β^-) : في هذه الحالة يتحول احد نيوترونات النواة الام الى بروتون وإلكترون ومضاد النيوترينو فينبعث كل من الالكترون (ويسمى β^- لان منشأها نووي) ومضاد النيوترينو الى خارج النواة ويبقى بروتون داخلها وتتحول النواة الأم الى نواة أخرى (الوليدة) لها شحنة تزيد على الأولى بوحدة واحدة ويمكن تمثيل هذا الانحلال على النحو التالي :

$${}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{1}_{1}P + \beta^- + v^-$$

$${}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + \beta^- + v^- \qquad (\beta^- = {}^{0}_{-1}e)$$

ب) انبعاث $^{+}(\beta)$: في هذه الحالة يتحول احد بروتونات النواة الأم إلى نيوترون بوزترون ونيوترينو فينبعث كل من البوزترون ويسمى β^{+} (لان منشأه نووي) و النيوترينو الى خارج النواة ويبقى النيوترون داخلها وتنتج نواة الوليدة لها شحنة اقل من شحنة النواة الام بمقدار وحدة واحدة ويمكن تمثيل هذا الانحلال على النحو التالي :

$$^{1}_{1}P \longrightarrow {}^{1}_{0}n + \beta^{+} + v$$

$$^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + \beta^{+} + v \qquad (\beta^{+} = {}^{0}_{+1}e)$$

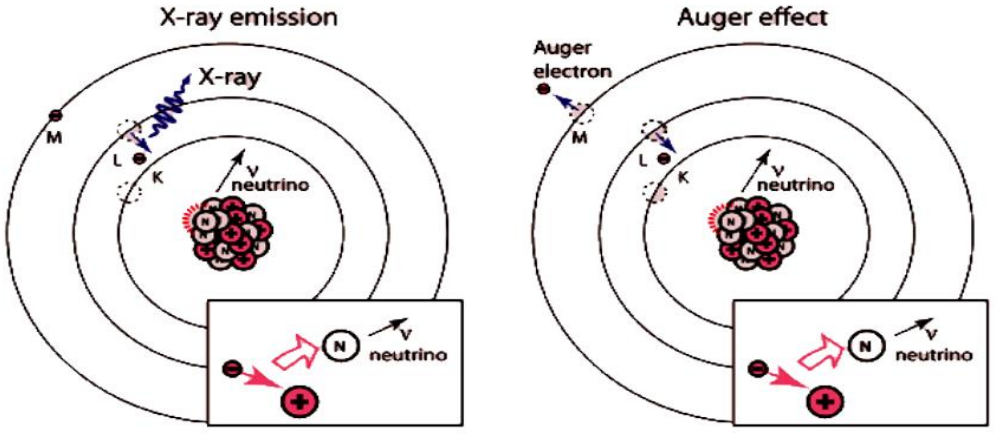
ج) الاسر الالكتروني .E.C :-

قد تأسر نواة معينة (الأم) احد الالكترونات المدارية (عادةً احد الكترونات الغلاف K) ويتحد مع احد بروتوناتها مولداً نيوتروناً و نيوترينو فينبعث النيوترينو الى الخارج ويبقى النيوترون داخل النواة وتنتج نواة وليدة تقل شحنتها بمقدار وحدة واحدة عن النواة الأم أي أن :

$$^{1}_{1}P + {}^{0}_{-1}e \longrightarrow {}^{1}_{0}n + v$$

$$_{Z}X^{A} + {}_{-1}e^{0} \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + v$$

ومن الجدير بالذكر انه عندما تأسر النواة الأم إلكترونا من الغلاف (K) ينتقل إلكترون أخر من الغلاف (L) إلى الغلاف (K) فيحدث انبعاث أشعة سينية مميزة للنواة الوليدة أو الكترونات أوجي (Auger electron) وهما دليلان على أن عملية اسر الإلكترون قد حدثت.



الشكلIII.8. عملية اسر الإلكترون

ملاحظة :

النيوترينو و النيوترينو المضاد هي جسيمات متعادلة الشحنة تقترب كتلتها من الصفر و سرعتها تقترب من سرعة الضوء. عندما يصطدم كل منهما بالآخر فان ذلك يعني فنائهما و يعلن عن ذلك

بصدور شعاع كهرومغناطيسي طاقته تساوي حاصل ضرب كتلتهما مضروب في مربع لسرعة الضوء.

هذه القاعدة لاتطبق على هذين الجسمين فقط ولكنهما تتطبق على كل الجسيمات و الجسيمات المضادة. فمثلا يحدث ذلك عند تصادم الإلكترون β^- و البوزيترون β^+ فينطلق شعاعي قاما γ الزاوية بينهما 180^0 و طاقة كل منهما 0.511 Mev.

$$M_eC^2 = 9.1\times10^{-31}\times\left(3\times10^8\right)^2 = 0.511875Mev$$

مثال : من الفيزياء الذرية معلوم أن الإلكترونات يوجد جزء من الزمن تكون داخل النواة وإذا كانت الطاقة لهذا النظام تقل فإن عملية الأسر الإلكتروني من الممكن أن تحدث طبيعياً وبذلك يتحول أحد البروتونات إلى نيترون .

من الملاحظ في المعادلات السابقة نجد أن عملية تحلل بيتا يصاحبها خروج جسيم آخر هو النيترونو ν وهو جسيم ليس له شحنة يشبه في خصائصه الفوتونات وله كتلة صغيرة جداً 1/200 من كتلة الإلكترون وله كمية الحركة زاوي $1/2\hbar$.

وتجدر الإشارة إلى أن تحلل بيتا لا يرافقه تغير في العدد الكلي للدقائق النووية.

III.2.8. شروط التحلل الذاتي (التلقائي)

باستخدام قانون حفظ الطاقة, فانه من الممكن بيان فيما اذ كانت نواة غير مستقرة (تنحل بواسطة انبعاث جسيمات بيتا) سوف تنحل أما بانبعاث جسيمات بيتا السالبة(β^-) او بانبعاث جسيمات بيتا الموجبة (β^+) أو بالأسر الالكتروني (E. C) وحسب ما مبين بالمعادلات التالية:

$$^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e \qquad (\beta^-)$$

$$^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e \qquad (\beta^+)$$

$$^{A}_{Z}X + {}^{0}_{-1}e \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}Y \qquad (E.C)$$

حيث Y, X تمثلان النواة الأم والوليدة على التوالي.

ملاحظة هامة : في الحقيقة أن المعادلات الثلاث السابقة ليست دقيقة حيث انه في الواقع هناك جسيم أخر ينبعث في هذه التحولات ويسمى النيوترينو (υ) اوالنيوترينو المضاد ($\bar{\upsilon}$).

ولهذا أذا اعتبرنا أن الطاقة الحركية لجسيمات بيتا المنبعثة من التحلل تكون أعظم طاقة، فالشروط التي سوف نشتقها تعتبر أيضاً صحيحة. لنعتبر ان التحلل هو:

$$ {}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e \qquad (\beta^{-}) $$

نفرض إن M_P , M_d , m_e هي كتلة النواة الأم والوليدة والإلكترون على التوالي، و إن k_d هي الطاقة الحركية للنواة الوليدة .

$(K_e)_{max}$:- هي الطاقة الحركية العظمى للإلكترون المنبعث.

من قانون الطاقة وعلى اعتبار ان k_p تساوي الطاقة الحركية للنواة الأم قبل التحلل و تساوي صفراً لان النواة الأم في حالة سكون قبل التحلل هو:

$$E_i = E_f$$

$$M_P C^2 = M_d C^2 + K_d + m_e C^2 + (K_e)_{max}$$

$$Q = K_d + (K_e)_{max} = (M_P - M_d - m_e) C^2 \qquad Q > 0$$

وعندما التعبيرعن قيم طاقة الانحلال (Q) بصورة عامة بدلالة الكتل الذرية M(Z) و M(Z+1) وذلك باستعمال العلاقات

$$M(Z) = M_P + Z\, m_e$$

$$M(Z+1) = M_d + (Z+1)\, m_e$$

فانه من الممكن كتابة انحلال بيتا السالبة التلقائي كما يلي :

$$Q = [M(Z) - M(Z+1)]\, C^2 \quad \text{.....(III.14)}$$

لانحلال β^- التلقائي يشترط أن يكون ($Q > 0$) اي إن الشرط اللازم للانحلال التلقائي هو قيمة Q يجب أن تكون موجبة إذن المعادلة السابقة تبين بان الانحلال بواسطة β^- يكون ممكناً عندما تكون الكتلة السكونية للذرة الأم اكبر من الكتلة السكونية للذرة الوليدة.

كذلك من الممكن البرهنة على إن طاقة التفاعل لانحلال بيتا الموجبة :-

$$Q = [M(Z) - M(Z-1) - 2\ m_e\ ]\ C^2 \quad \text{.....(III.15)}$$

طاقة التفاعل كذلك طاقة التفاعل في الاسر الالكتروني :-

$$Q_{EC} = [M(Z) - M(Z-1)]\ C^2 \quad \text{.....(III.16)}$$

مثال : برهن على ان نظير النحاس المشع ${}^{64}_{29}Cu$ يحقق شروط الانحلال بالطرق التالية:-

1- الى ${}^{64}_{30}Zn$ بانبعاث الكترون

2- الى النيكل ${}^{64}_{28}Ni$ بانبعاث بوزترون

3- الى النيكل ${}^{64}_{28}Ni$ باسر الكترون

اكتب معادلات التحلل (3,2,1) علماً ان الكتل الذرية لكل من

${}^{64}_{29}Cu = 63.929766$ (u)

${}^{64}_{30}Zn = 63.929145$ (u)

${}^{64}_{28}Ni = 63.927968$ (u)

$me = 5.5 \times 10^{-4}$ (u)

الحل

1- $^{64}_{29}Cu \longrightarrow \beta^- + {}_+\upsilon^- \; ^{64}_{30}Zn$

$Q_{\beta^-} = [M(Z) - M(Z+1)]\, C^2 = [M_p - M_d]\, C^2 = [M_p - M_d]\, 931\ MeV/u$

$Q_{\beta^-} = [63.929145\ (u) - 63.927968\ (u)]\, 931\ MeV/u = 0.578\ MeV$

بما ان $(Q > 0)$ موجبة فالتحلل التلقائي ممكن الحدوث

2- $^{64}_{29}Cu \longrightarrow \beta^+ + {}_+\upsilon^- \; ^{64}_{28}Ni$

$Q_{\beta+} = (m_p - m_d - 2m_e)\, C^2 = [M(Z) - (M(Z-1) - 2me]\, C^2$

$= [M(Z) - (M(Z-1) - 2me]\, 931\ MeV/u$

$= [63.929766\ (u) - 63.927968\ (u) - 2\times(5.5 \times 10^{-4})]\, 931\ MeV/u = 0.65\ MeV$

اذن التحلل ممكن الحدوث لان $Q>0$

3-

$^{64}_{29}Cu + {}^{0}_{-1}e \longrightarrow {}^{64}_{28}Ni + \upsilon$

$Q_{EC} = [M(Z) - M(Z-1)]\, C^2$

$= [63.929766\ (u) - 63.927968\ (u)]\, 931\ MeV/u = 1.674\ MeV$

اذن التحلل ممكن الحدوث لان $Q>0$

ملاحظات :-

1- يحدث التحلل بانبعاث البوزترون او بانبعاث الإلكترون او اسر الإلكترون او انحلال الفا فقط اذا كانت طاقة التفاعل موجبة $(Q > 0)$

2- أثبتت النتائج التجريبية إن كتلة النيوترون السكونية أكبر من مجموع الكتلتين السكونية للبروتون والالكترون و لهذا السبب يضمحل النيوترون الحر وفق معادلة الانحلال الى بروتون والكترون كما في التفاعل :

$${}_0^1n \longrightarrow {}_1^1P + \beta^- + \nu^-$$

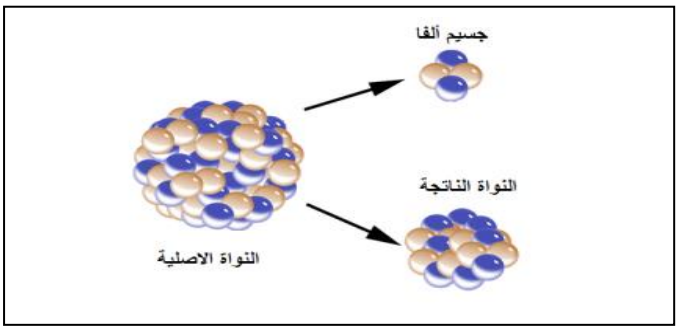
بينما لا يضمحل البروتون الحر(بروتون خارج النواة) وهذا يعني إن البروتون الحر جسيم مستقر بينما النيوترون الحر ممكن إن يتحلل وقد وجد تجريبياً أن النيوترون الحر ينحل فعلا وفق المعادلة السابقة وعمر النصف له يساوي تقريباً ($t_{1/2}$ = 10.6 min).

3- تفاعل انحلال بيتايسمى بالتفاعل الضعيف (القوة الضعيفة).

4- في جميع الطرق الثلاثة السابقة (E.C., β^-, β^+) يكون العدد الكتلي (A) للنواة الوليدة مساوياً للعدد الكتلي للنواة الام وهذا يعني ان النواتان الام والوليدة هما ايزوباران لذلك تسمى هذه التحولات بالتحولات الايزوبارية أي ان ($\Delta A=0$).

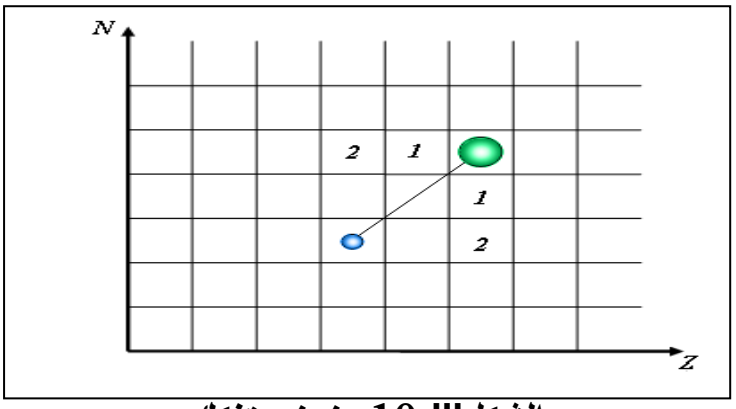
III.9 .انحلال ألفا(تحلل α)

ومن الخواص المميزة لجسيمات ألفا هو أنها تتميز بطاقات محددة وقد وجد أن جسيمات ألفا الصادرة من نظير معين لها تقريبا نفس الطاقة إذا كان النظير ينتقل من الحالة المثارة Exited State إلى الحالة المستقرة Ground State مباشرة أو تكون جسيمات ألفا الصادرة من نظير معين لها أكثر من طاقة وذلك لإنتقال النظير من الحالة المستقرة إلى حالة غير مستقرة أخرى قبل الوصول لحالة الإستقرار حيث ينبعث فرق الطاقة في صورة أشعة جاما لكي تصل النواة إلى حالة الإستقرار (الشكل III.9).



الشكلIII.9.نواة عنصر مشع تصدر اشعاعات نووية

جسيمات ألفا عبارة عن نوى ذرات الهيليوم He_2^4 وهذه الجسيمات تخرج من نواة النظائر المشعة نتيجة للتفكك الإشعاعي الذي يؤدي بدوره إلى وصول النظير المشع إلى حالة الاستقرار كما هو موضح في الشكل التالي :



الشكلIII.10.منحنى تفكك α

III.1.9. الانحلال التلقائي :- إذا كانت النواة الأم ${}^{A}_{Z}X$ تنحل إلى النواة الوليدة ${}^{A-4}_{Z-2}Y$ وجسيمة ألفا ($_2He^4$) فان العملية تسمى انحلال ألفا أي إن

$$ {}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He + Q \quad \text{.....(III.17)} $$

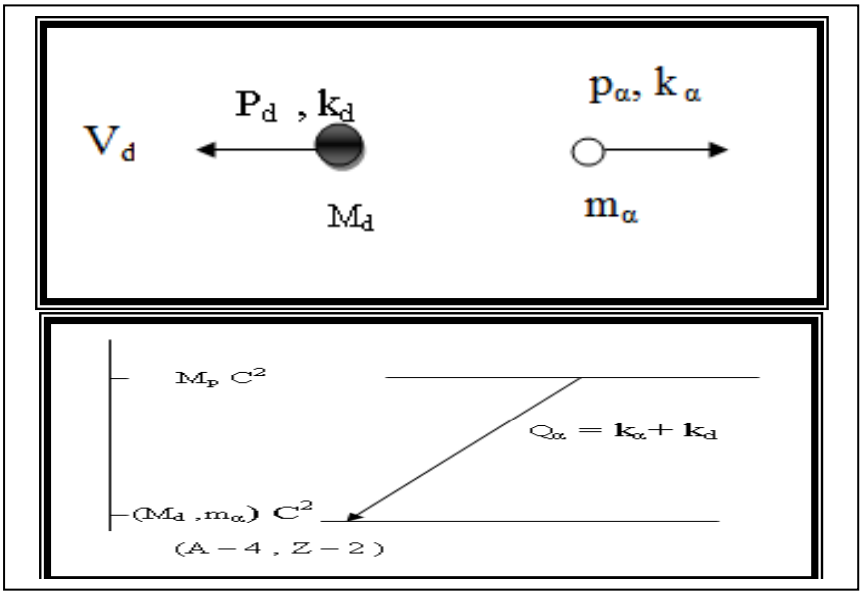
Q:- طاقة الانحلال أو طاقة انحلال ألفا (Q_α)

نلاحظ انه بسبب اختلاف قيم (Z) قبل وبعد التحلل فان الطبيعة الكيميائية للنواة الوليدة تختلف عن النواة الأم.باستخدام قانون حفظ الطاقة وقانون حفظ كمية الحركة لغرض إيجاد الشرط اللازم لنواة تتحلل بواسطة انبعاث جسيمة ألفا (α) ,لنفرض إن (M_p) و(M_d) و (m_α) هي كتل السكون لكل من النواة الأم والنواة الوليدة وجسيمة الفا على التوالي.

النواة الأم عادة هي في حالة سكون قبل التحلل ,لذلك فان كمية الحركة الخطي يساوي صفر وفي هذه الحالة فان جسيمة ألفا والنواة الوليدة يجب أن يتحركا باتجاهين متعاكسين (لاحظ الشكل (III.11)) وذلك لغرض حفظ كمية الحركة .

بعد الانحلال $p_\alpha + p_d = 0$ قبل الانحلال

لو فرضنا أن E_i , E_f هي الطاقات الكلية للمجموعة قبل وبعد التحلل على التوالي, بتطبيق قانون حفظ الطاقة نحصل على



الشكل III.11. انحلال الفا للنواة (رسم الطاقة و الكمية الحركة)

$E_i = E_f$ ..... (III.18)

$M_p C^2 = M_d C^2 + k_d + m_\alpha c^2 + k_\alpha$ ..... (III.19)

k_d هي الطاقة الحركية للنواة الوليدة تساوي

$k_d = \frac{1}{2} m_d \nu^2_d$ .....(III.20)

حيث إن k_α هي الطاقة الحركية لجسيمة الفا تساوي

$k_\alpha = \frac{1}{2} m_\alpha \nu^2_\alpha$ .....(III.21)

(ν_d) هي سرعة النواة الوليدة (ν_α) هي سرعة جسيمة الفا

(لاحظ هنا استعملنا الطاقة الحركية غير النسبية حيث تكون السرع واطئة أو صغيرة) إذن من الممكن كتابة

$Q = k_d + k_\alpha$

$Q = \{M_P - M_D - m_\alpha\}c^2$.....(III.22)

حيث :

M_P : كتلة النواة الأم .

M_D : كتلة النواة البنت .

m_α : كتلة جسيم ألفا .

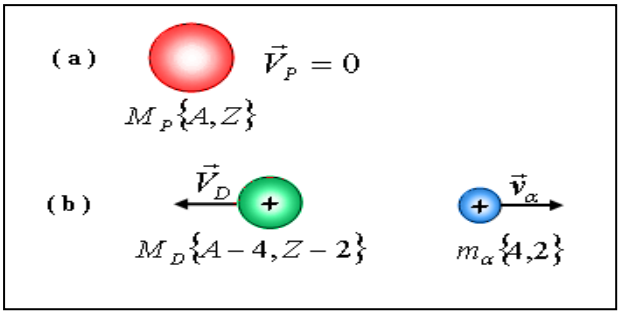
Q : مجموع الطاقة الحركية الكلية للنواة البنت و جسيم ألفا

بالنسبة للانحلال التلقائي فان قيمة Q يجب أن تكون موجبة (Q>0)

ويمكن كتابة قانون حفظ الطاقة على الشكل :

$$Q = \frac{1}{2}\left[M_D \vec{V}_D^2 + m_\alpha \vec{v}_\alpha^2\right] \quad .....(III.23)$$

و الشكل التالي يبين تفكك ألفا :



الشكلIII.12. تفكك ألفا

ومن قانون بقاء كمية الحركة { كمية الحركة قبل التفاعل = كمية الحركة بعد التفاعل } و لأن كمية حركة النواة الأم قبل التفاعل = 0 فإنه يمكن أن نقول :

$$M_D V + m_\alpha v = 0$$

و لأن سرعة جسيم ألفا عكس سرعة النواة البنت فإن :

$$M_D V + m_\alpha (-v) = 0$$

$$M_D V = m_\alpha v$$

$$V = \frac{m_\alpha}{M_D} v \quad .....(III.24)$$

من (III.23) و (III.24) نجد أن :

$$\Rightarrow Q = \frac{1}{2}\left[M_D\left(\frac{m_\alpha}{M_D} v\right)^2 + m_\alpha \vec{v}_\alpha^2\right]$$

و بأخذ v^2 عامل مشترك :

$$Q = \frac{1}{2} v^2 \left(\frac{m_\alpha^2}{M_D} + m_\alpha\right)$$

و بأخذ m_α عامل مشترك :

$$Q = \frac{1}{2} v^2 m_\alpha \left(\frac{m_\alpha}{M_D} + 1 \right)$$

$$= K_\alpha \left(\frac{m_\alpha}{M_D} + 1 \right)$$

$$Q = K_\alpha (B + 1)$$

$$\Rightarrow K_\alpha = \frac{Q}{B+1}$$

حيث :

$$B = \frac{m_\alpha}{M_D} = \frac{4}{A}$$

$$Q = \{M_P - M_D - m_\alpha\} c^2$$

K_α : طاقة حركة جسيم ألفا .

$$k_\alpha = \frac{Q}{1 + \frac{m_\alpha}{M_d}} \quad \Longrightarrow \quad k_d = \frac{Q}{1 + \frac{M_d}{m_\alpha}}$$

من الممكن اعتبار

$$\frac{m_\alpha}{M_d} = \frac{4\,u}{(A-4)\,u} \qquad M \approx Au$$

حيث A :- العدد الكتلي للنواة الأم

الطاقة الحركية لجسيمة α بدلالة العدد الكتلي

$$k_\alpha = \frac{A-4}{A} Q$$

الطاقة الحركية للنواة الوليدة بدلالة العدد الكتلي

$$k_d = \frac{4Q}{A}$$

وبما أن قيم A العدد الكتلي للنواة الأم اعتياديا تكون كبيرة ولذلك فان نسبة $\frac{A-4}{A}$ تكون مساوية تقريبا إلى الواحد أي أن

$$\frac{A-4}{A} \approx 1$$

ونتيجة لذلك فان معظم طاقة الانحلال تكون كطاقة حركية لجسيمة α ان المعادلـــة :

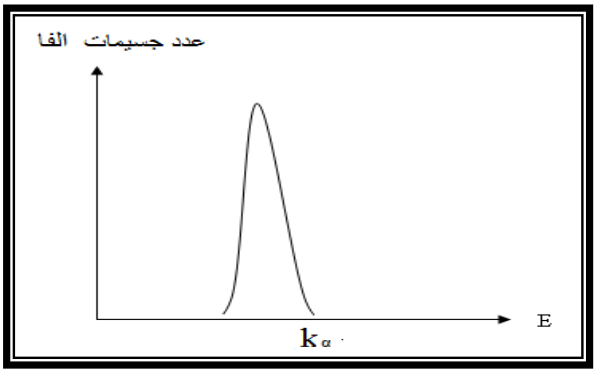
$$k_\alpha = \frac{Q}{1+\frac{m_\alpha}{M_d}} \quad \text{و} \quad k_d = \frac{Q}{1+\frac{M_d}{m_\alpha}}$$

III.2.9. طيف طاقة جسيمات ألفا

وجد أن هناك ثلاثة أنواع لطيف الطاقة في جسيمات ألفا :

1. أطياف تحتوي على نوع واحد من دقائق ألفا .
2. أطياف تحتوي على نوعين أو أكثر من دقائق ألفا مختلفة قليلاً في الطاقة ومختلفة في الوفرة مثل Th^{228} .
3. أطياف تحتوي على نوع رئيسي وأنواع أخرى ذات طاقة أعلى .

تبين انه بانبعاث جسيمات الفا من نواة غير مستقرة ساكنة ابتدائياً فان هذه الجسيمة (α) تنبعث بطاقة محددة لان قيمة Q محددة وكذلك قيمة k_α محددة ايضاً ويقال على جسيمات الفا المنبعثة بأنها أحادية الطاقة (monoenergetic)، كما مبين في الشكل :



الشكل III.13 طيف الطاقة لجسيمات الفا المنبعثة من مادة مشعة

III.3.9. ثابت انحلال ألفا : ان أول من لاحظ الاتجاهات التسلسلية لثابت انحلال ألفا هما كايكر و نوتال وقد لاحظا وجود علاقة خطية بين لوغاريتم ثابت الانحلال وبين لوغاريتم مدى جسيمات ألفا لعدد من العناصر التي لها نشاط ألفا الإشعاعي والموجودة في الطبيعة . لقد تم بعد ذلك إثبات إن هذه العلاقة تعتمد في الأساس على خواص طاقة الانحلال وعمر النصف وتكون صحيحة لعدد محدود فقط من النوى وقد أثبتت التجارب التي أجريت موخراً صحة المعادلة في

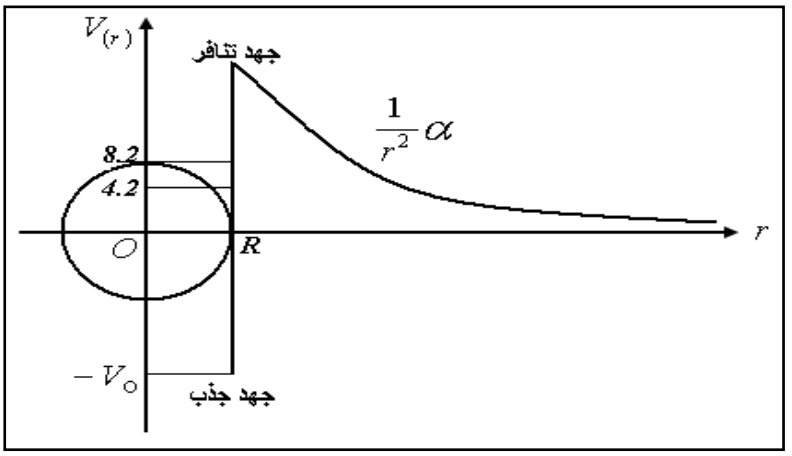
أدناه للنوى زوجية – زوجية في حالتها الأرضية . إن المعادلة العامة لحساب عمر النصف أو ثابت انحلال α

$$\text{Log } (t_{1/2}) = a + \frac{b}{Q_\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\

و بالرجوع إلى ميكانيكا الكم نفسر تفكك ألفا بدلالة اختراق حاجز الجهد النووي وهذا ناتج عن القوة التنافرية بين النواة الموجبة والدقيقة الساقطة الموجبة $[\alpha]$عندما تقترب من النواة فسيحدث تنافر وتزداد قوة التنافر كلما قلت المسافة $[R]$ بينهما . ولكن التنافر لا يستمر بالزيادة عندما تصبح المسافة صفراً.

لذا يجب أن تكون هناك قوة جذي تعمل ضمن مسافات صغيرة داخل النواة $2Fm$ وهذه القوى هي عبارة عن القوى النووية و بالتالي فإن الجهد النووي سيكون جهد جذب .

إذا نستطيع أن نرسم الجهد على النحو التالي :



الشكلIII.14. الجهد النووي بدلالة البعد

نجد أن الجهد في المنطقة $r > R$ يكون عبارة عن جهد طرد [جهد كولوم] ومعطى بالعلاقة :

$$V(r) = \frac{A\, e^2 Z}{r^2} \;\; ; \; r > R \qquad \text{.....(33.III)}$$

أما بالنسبة للمنطقة الواقعة في $r < R$ فإن الجهد يكون تقريباً :

$$V(r) = \; -V_0 \;\; ; \; r < R \qquad \text{.....(34.III)}$$

وبالتالي ستكون هناك منطقتان لكل منهما جهد مختلف و بالتالي سيكون لكل منطقة دالة موجية معينة . ومن الملاحظة وجد أن طاقة $[\alpha]$ المنبعثة تكون في حدود $4.2MeV$ وكذلك طول الحاجز الكولومي $8.2MeV$ و السؤال كيف يتم الانبعاث ؟؟

عندما أجرى رذرفورد تجربته بقذف نواة معينة بجسيمات $[\alpha]$ وجد أن هنالك احتمال للتأثر بين النواة و جسيمات $[\alpha]$ ذات طاقة أقل من طاقة حاجز الجهد و تفسير هذا هو بحل معادلة شرودنجر باستخدام V و بعد الحل وإيجاد الدالة الموجية وجد أن هنالك احتمال للنفاذ وهذه الحالة هي نفس حالة وجود الجسيمات $[\alpha]$ داخل النواة بدالة موجية مصاحبة معينة فإن مربع الموجة خارج النواة على مربع السعة داخل النواة يعطي احتمال حدوث انبعاث الجسيمات $[\alpha]$ وهذا التفسير الكمي للنظرية . وفيها نلاحظ أنه كلما زادت طاقة جسيمات $[\alpha]$ فإن احتمال انبعاث جسيمات $[\alpha]$ يكون عالياً و العكس صحيح وهذا يتفق مع العلاقة 1 . بعد انبعاث جسيمات $[\alpha]$ من النواة تكون الجسيمات تتحرك في المجال الكولومي للنواة و بالتالي سوف تطرد لمسافات بعيدة حتى تصبح طاقتها طاقة حركية كلية .

لمعرفة صحة هذه النظرية ثم حساب علاقة بين ثابت التحلل و طاقة جسيمات $[\alpha]$ وكانت كالتالي :

$$\lambda = Ke^{-G} \quad \text{.....(35.III)}$$

حيث K و G دوال تعتمد على :

طاقة جسيمات α . كتلة جسيمات α . سرعة جسيمات α . نصف القطر المؤثر على جسيمات α

جميع المناقشة السابقة للأنوية التي لها أعداد زوجية . زوجية فقط . أما بالنسبة للأنوية التي لها أعداد فردية – فردية أو زوجية – فردية فإن المعالجة مختلفة ومعقدة .

مثال: تنحل نواة الراديوم $^{224}_{88}Ra$ بانبعاث جسيمة الفا حسب التفاعل الاتي

$$^{224}_{88}Ra \longrightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$$

1-احسب طاقة الانحلال لهذا التفاعل

2- الطاقة الحركية لجسيمة الفا (مستخدماً علاقة العدد الكتلي)

3- الطاقة الحركية للنواة الوليدة (المرتدة) (مستخدماً علاقة العدد الكتلي)

الحل:

1- $Q = [\, M(A,Z) - M(A-4,Z-2) - M(4,2) \,]\, C^2$

$= 224.020218\ (u) - 220.011401\ (u) - 4.002603\ (u)]\ 931\ MeV/u$

$= 6.214 \times 931\ MeV/u = 5.785\ MeV$

2- $k_\alpha = \frac{A-4}{A} Q = (\frac{224-4}{224}) \times 5.785 = 5.682\ MeV$

3- $Q = k_d + k_\alpha$

$= k_d = Q - k_\alpha = 5.785 - 5.682 = 0.103\ MeV$

$k_d = \frac{4Q}{A} = (4 \times 5.785\ Mev) / 224 = 0.103\ MeV$

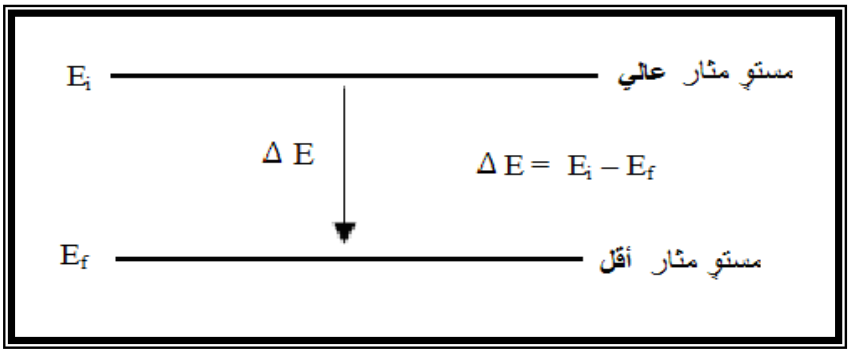
III.10 انحلال كاما (Gamma Decay)

كما هو حاصل في الذرات المثارة { عندما يكتسب أحد الإلكترونات طاقة تجعله ينتقل من مستوى أقل إلى مستوى أعلى وبعد فترة قصيرة } فإنه يعود ويشع فرق الطاقة على هيئة طيف أو أشعة كهرومغناطيسية و تصبح الذرة مستقرة .

كذلك فإن النواة أيضاً من الممكن أن تكون مثارة بعد أن تتحلل إلى جسيمات و أنوية جديدة أو في بعض التفاعلات النووية . وهذا يعني أن هناك بروتونات أو نيوترونات تحتل مستويات طاقة أعلى من مستوياتها ثم تأخذ فترة قصيرة من الزمن حتى ترجع إلى حالتها الأرضية وذلك عن طريق إشعاع أشعة جاما و بعد ذلك يتم إعادة ترتيب الدقائق النووية داخل النواة .

تنبعث او تنحل أشعة كاما بثلاث طرق متعارف عليها

1- **انبعاث أشعة كاما:** تبقى النوى في حالة الإثارة نتيجة تحللها بانبعاث جسيمات بيتا او ألفا أو أي نوع من الجسيمات، وفي الحقيقة إن معظم التفاعلات النووية تكون فيها النواة المرتدة في حالة إثارة أيضاً، فإذا كانت النواة المثارة لا تمتلك الطاقة لبعث جسيم آخر، أو تحولها بانبعاث إلى جسيم أخر يكون بطئ فان تلك النواة تحاول العودة إلى وضع الاستقرار بانحلال متخلصة من الطاقة الفائضة بواسطة تفاعل كهرومغناطيسي على الشكل التالي:



الشكل III.15. انحلال كاما للنواة (رسم الطاقة)

إن النواة في مستوٍ مثار عالٍ وبطاقة مقدارها E_i تعمل لانتقال إلى مستوٍ مثار اقل (أو إلى المستوى الأرضي) ذو الطاقة E_f فان الطاقة الفائضة ΔE التي تساوي $(E_i - E_f)$ تعطى بالعلاقة و الشكل أعلاه سوف تتبعث بواسطة احدى الطرق [انبعاث اشعة كاما , التحول الداخلي, انتاج الزوج (الكترون –بوزترون) داخلي].

التحول الداخلي : يحدث التحول الداخلي كبديل لانبعاث أشعة كاما فإذا افترضنا إن نواة معينة متواجدة في مستوٍ متهيج (E_i) ، فالنواة قد تعطي في هذه الحالة الطاقة الفائضة (ΔE) إلى أحد الكتروني الغلاف (k) قريب جداً منها بدلاً من أن تبعث أشعة كاما وتنتقل إلى مستوٍ متهيج أوطأ طاقة (E_f) وعندئذ يقذف الإلكترون خارج الذرة بطاقة حركية (k_e) معطاة بالعلاقة التالية (ويسمى الإلكترون أحيانا بإلكترون أوكر):

$$E_\gamma = \Delta E = E_i - E_f \quad \text{.....(36.III)}$$

$$K_e = E_\gamma - I_B \quad \text{.....(37.III)}$$

$\Delta E = (E_\gamma)$:- هي الطاقة التي كان من المفترض إن ينبعث بها فوتون أشعة كاما .

و(I_B) :- طاقة ترابط الإلكترون بالذرة

تمتاز أشعة كاما بكونها أشعة كهرومغناطيسية ليس لها شحنة لذلك لا يمكن إن تنحرف بالمجال الكهربائي أو المغناطيسي، ولها قابلية اختراق كبيرة للمواد.

إذا رمزنا للنواة المثارة بالرمز (^A_ZX) او $(^A_ZX)^*$ فعند ذلك فان التحلل بواسطة أشعة كاما يكتب على الشكل التالي:

$$(^A_ZX)^* \longrightarrow (^A_ZX) + \gamma$$

من خلال التفاعل نلاحظ ان انحلال كاما لا يؤثرعلى النواة حيث (A,Z) تبقى ثابتة بدون تغيير .

3 – انتاج الزوج (الكترون بوزترون) داخلي (داخل النواة)

نحصل من خلال هذه العملية على بوزترون و الكترون حيث ان $E = m\ C^2$ هي الطاقة التي تكافئ الكتلة وهذه الطريقة هي التي حققت انه من الممكن تحويل الطاقة الى كتلة

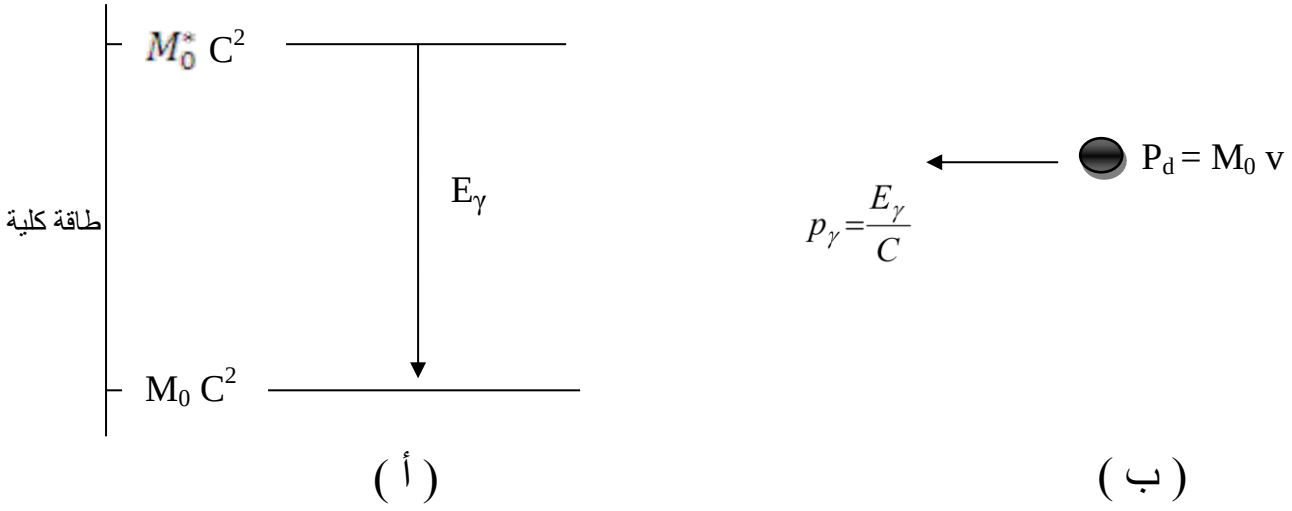
1.10.III طاقة تحلل γ

إذا كانت النواة الأم المتهيجة لها كتلة سكونية (M_o^*) وهي في حالة سكون ابتدائي وحرة، وكتلة النواة الوليدة هي (M_0) فان قوانين حفظ الطاقة وكمية الحركة :

$$M_0^*\ C^2 = M_0\ C^2 + E_\gamma + T_d \quad \text{.....(38.III)}$$

$$0 = \vec{p}_\gamma + \vec{p}_d \quad \text{.....(39.III)}$$

لاحظ الرسم التالي :



الشكل 16.III انحلال γ للنواة أ) رسم الطاقة و ب) رسم الكمية الحركة

حيث :-

E_γ و p_γ :- هي طاقة و كمية الحركة اشعة كاما

T_d و P_d :- هي الطاقة الحركية و كمية الحركة النواة الوليدة (المرتدة)

يمكن اعتبار سرعة الارتداد للنواة قليلة بحيث يمكن استخدام المعادلات غير النسبية لحساب T_d

$$T_d = \frac{P_d^2}{2M_O} \quad , \quad P_d^2 = M_O^2 V^2 = M_O\, M_O\, V^2$$

$$\frac{P_d^2}{2} = M_O \left(\frac{1}{2} M_O\, V^2\right) = M_O\ T_d$$

$$T_a = = \frac{P_d^2}{2M_O}$$

$$E_\gamma^2 = P_\gamma^2 C^2 + M_O^2 C^4 = P_\gamma^2 C^2 \Rightarrow P_\gamma^2 = \frac{E_\gamma^2}{C^2}$$

$$T_d = \frac{E_\gamma^2}{2m_o C^2}$$

اذا الطاقة الحركية للنواة الوليدة هي بدلالة طاقة كاما وكتلة النواة الوليدة

لو فرضنا إن $E_\gamma = 2$ MeV و $M_o = 50$ u

$$T_d = \frac{(2)^2}{2\times 50\times 931} = 43 \text{ eV}$$

ولمعظم الأغراض يمكن اعتبار هذه الكمية والطاقة صغيرة بحيث يمكن أن تهمل وبذلك تكون طاقة الفوتون

$$E_\gamma = (M_0^* - M_0)C^2 \qquad (40.III)$$

س / في عملية انحلال كاما لنواة الكاربون ^{14}C اوجد طاقة كاما

2.10.III الانتقالات المشعة لأشعة γ

من النظرية الكهرومغناطيسية نجد أنه عندما يكون لدينا شحنة مهتزة فإنها تولد مجالاً مغناطيسياً و كذلك التغير في المجال المغناطيسي يولد مجالاً كهربياً , وبالتالي الشحنة المهتزة تولد مجال كهربي .

11.III بعض تطبيقات على الانحلال الاشعاعي

1- تقدير عمر الاثار بواسطة الكاربون $^{14}_{6}C$

يدخل الكاربون في تركيب الكائنات الحية ويتولد بسبب الأشعة الكونية في الجو (نتيجة قصف النتروجين الموجود في الجو بالأشعة الكونية) من المعروف ان المادة العضوية تصل الى حد التوازن بين الكاربون فيها والكاربون في الجو , وبعد موت الكائن الحي يخرج التوازن الطبيعي ويتوقف الكائن الحي عن امتصاص **^{14}C** وتبدأ محتوياته من هذا النضير بالنقصان حسب قانون الانحلال الإشعاعي وبذلك فان قطعة أثرية مثلاً يمكن تقدير عمرها من معرفة نسبة الكاربون $^{14}_{6}C$ فيها وكما يلي :

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

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

$Ln (A_0 /A) = \lambda t$

$$t = (\frac{1}{\lambda}) \ln (\frac{A}{A_0}) \quad \text{.....(41.III)}$$

$$\lambda = 0.693 / t_{1/2} \quad \text{.....(42.III)}$$

$$t = \frac{t_{\frac{1}{2}}}{\ln (2)} \ln(\frac{A_0}{A}) \quad \text{.....(43.III)}$$

فاذا اعتمدنا عمر نصف الكاربون يساوي 5568 سنة وان نسبة النشاط الإشعاعي لقطعة (A_0) قديمة اذا ما قورنت بقطعة مناظرة في الوقت الحالي(A) (حية حديثة) تكون معلومة فان عمر القطعة الأثرية يسهل إيجاده من المعادلة (41.III) او(43.III) أعلاه .

<u>مثال :</u> لمعرفة الحفبة التي عاش فيها الإنسان ما قبل التاريخ في المغارات ، قمنا بقياس نشاط عينة من فحم الخشب المدفون في أرض المغارة ، فكان 1,6 تفكك في الدقيقة ، بينما نشاط عينة لها نفس الكتلة و من نفس الخشب مقطوعة حديثا هو 11,5 تفكك في الدقيقة

– أحسب الزمن الذي مر منذ آخر نار استوقد في المغارة ، علما أن زمن نصف العمر للكربون 14 هو $t_{1/2} = 5730\ ans$.

باتباع نفس الخطوات نجد :

$$t = \frac{1}{\lambda}.\ln\frac{A_0}{A(t)}$$

$$t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2}.\ln\frac{A_0}{A(t)}$$

$$= \frac{5730}{\ln 2}.\ln\frac{11,5/60}{1,6/60}$$

$$t = 16\ 304,7\ ans$$

12.III سلسلة الانحلال الاشعاعي : وهي مجموعه من العناصر المشعه تكونت نتيجه لسلسله من الانحلالات المتتابعه بدا بالعنصر المشع وانتهاءا بالوليده المستقره , وهناك اربعة سلاسل انحلال رئيسيه في الطبيعه هي :

1 – سلسلة انحلال اليورانيوم (U) – 238

2 – سلسلة انحلال اليورانيوم (U) – 235

3 – سلسلة انحلال الثوريوم (Th) – 232

4 – سلسلة انحلال النبتونيوم (Np) – 237

سلسلة انحلال U – 238

تبدا هذه السلسله باليورانيوم – 238 وتنتهي بالرصاص – 206 ومعادلة العدد الكتلي لافراد هذه السلسله هي :

$A = 4n + 2$ حيث ان $n = (59 \ldots\ldots\ldots 51)$

العنصر الاول هو 59 والعنصر الاخير هو 51 لذلك يكون العدد الكتلي للعنصر الاول في السلسله هو 4*59 +2 =238 , والعنصر الاخير هو 4*51 +2 =206

والمعادله العامه لانحلال هذه السلسله هي :

$$^{238}_{92}U \rightarrow ^{206}_{82}Pb + 8^{4}_{2}\alpha + 6\beta^{-}$$

والانحلالات الكليه لهذه السلسله هي :

$$^{238}_{92}U \rightarrow ^{234}_{90}Th + \alpha \rightarrow ^{234}_{91}Pa + \beta^{-} \rightarrow ^{234}_{92}U + \beta^{-} \rightarrow ^{230}_{90}Th + \alpha \rightarrow ^{226}_{88}Ra + \alpha \rightarrow ^{222}_{86}Rn + \alpha \rightarrow ^{218}_{84}Po + \alpha \rightarrow ^{214}_{82}Pb + \alpha$$
$$\rightarrow ^{214}_{83}Bi + \beta^{-} \rightarrow ^{210}_{81}Tl + \alpha \rightarrow ^{206}_{79}Au + \alpha \rightarrow ^{206}_{80}Hg + \beta^{-} \rightarrow ^{206}_{81}Tl + \beta^{-} \rightarrow ^{206}_{82}Pb + \beta^{-}$$

سلسلة انحلال U – 235

تبدا هذه السلسله باليورانيوم – 235 وتنتهي بالرصاص – 207 والعدد الكتلي

$A = 4n + 3$ حيث ان $n = (58.....51)$

العنصر الاول هو 58 والعنصر الاخير هو 51 لذلك يكون العدد الكتلي للعنصر الاول هو 4 *

58 + 3 = 235 , والعدد الكتلي للعنصر الاخير هو

4 * 51 +3 = 207

والمعادله العامه لانحلال هذه السلسله هي :

$$^{235}_{92}U \rightarrow ^{207}_{82}Pb + 7^{4}_{2}\alpha + 4\beta^{-}$$

سلسلة انحلال Th – 232

تبدا هذه السلسله بالثوريوم – 232 وتنتهي بالرصاص – 208 ويخضع العدد الكتلي لافراد هذه السلسله للمعادله :

$A = 4n$ حيث ان $n = (58.....52)$ لذلك فالعدد الكتلي للعنصر الاول

4 * 58 = 232 , والعدد الكتلي للعنصر الاخير 4 * 52 = 208

والمعادله العامه لانحلال هذه السلسله هي :

$$^{232}_{90}Th \rightarrow ^{208}_{82}Pb + 6^{4}_{2}\alpha + 4\beta^{-}$$

التمارين:

التمرين -1-

1- أحد العناصر المشعة بدأ نشاطه الإشعاعي بـ $10mCi$ ثم بعد فترة $4hour$ أصبح نشاطه $8mCi$. أحسب فترة نصف العمر لهذا العنصر ثم أحسب عدد الأنوية لحظة بداية النشاط الإشعاعي ؟

2 - ماهو النشاط الاشعاعي ل 1g من ^{226}Ra علما أن دوره T=1662 ans

التمرين -2-

إذا كانت الكفاءة الإشعاعية ل 1mg من نظير الراديوم ^{226}Ra تقدر ب $3,69.10^{7}$ تفكك في الثانية. فماهي فترة عمر النصف

التمرين -3-

احسب كتلة عينة من نظير الكوبالت 60(^{60}Co) كانت كفاءتها الاشعاعية عند التحضير كوري واحد . فترة عمر النصف ل ^{60}Co تساوي 5.27ans

التمرين -4-

عينة من الكوبالت 60(^{60}Co) وزنها عند التحضير 1mg .

1- احسب ثابت التفكك و النشاط الإشعاعي بوحدتي الكوري و البيكريل اذا فترة كانت النصف العمر تساوي 5.27ans

2- احسب النشاط الإشعاعي بعد مرور عشر سنوات من التحضير .

التمرين -5-

عينة من خام البوتاسيوم ذات كتلة 46.3mg ونشاط اشعاعي يقدر ب 1.5Bq فاذا كان مصدر اشعاع β للعينة هو نظير البوتاسيوم ^{40}K ونسبته في العينة % 0.012 احسب فترة عمر النصف للبوتاسيوم 40

التمرين -6-

احسب كتلة نظير السترانشيوم ^{90}Sr ذات نشاط إشعاعيمكافئ ل g 1 من نظير الكوبالت 40

علما بان $T_{1/2}|_{Co}=5.27ans$ $T_{1/2}|Sr=28.1ans$

التمرين -7-

احسب حجم وكتلة الراديوم 222 المتوازن إشعاعيا مع الراديوم 226 حيث فترة عمر النصف للراديوم $T_{1/2}\big|_{Rn}=3.825J$ $T_{1/2}\big|_{Ra}=1622ans$ $\rho_{Rn}=9{,}37.10^{-3}kg/m^3$

التمرين -8-

عينة من اليورانيوم 235 كتلتها 1g تم تحضيرها الآن فإذا كانت معادلة سلسلة التفكك الإشعاع كالأتي $^{235}_{92}U \xrightarrow{\alpha} {}^{231}_{90}Th \xrightarrow{\beta^-} {}^{231}_{91}Pa$

احسب عدد ذرات التوريوم231 بعد يوم واحد من التحضير ثم بعد سنة ثم بعد 100مليون سنة

التمرين -9-

يتفكك نظير ^{210}Bi المشع طبقا للمعادلة :

$$^{210}_{83}Bi \xrightarrow{\beta^-} {}^{210}_{84}Po \xrightarrow{\alpha} {}^{206}_{82}Pb$$

إذا كانت $\lambda_1=1.6\times10^{-6}S^{-1}$ و $\lambda_2=5.8\times10^{-8}S^{-1}$

1- احسب النشاط الإشعاعي الابتدائي

2- احسب النشاط الإشعاعي ل ^{210}Bi و ^{210}Bo بعد مرور شهرين من تحضيرها إذا كانت كتلتها 2mg

3- احسب أعلى نشاط إشعاعي ل ^{210}Po و متى يصل إلى ذلك

4- إذا كان لديك 1g من كلا من ^{210}Bi ^{210}Po , أيهما أعلى في النشاط الإشعاعي

التمرين -10-

التفكك β^- لنواة ^{191}Os يعطي حالة مثارة ل ^{191}Ir بطاقة $E^*=171kev$

- احسب أقصى طاقة ينطلق بها جسيم β^-

$M(^{191}Ir)=190.960920u$ $M(^{191}Os)=190.960920u$

التمرين -11-

لتكن التفككات الآتية

$^{10}_{6}C \rightarrow {}^{10}_{5}B + ...$

$^{65}_{28}Ni \rightarrow {}^{65}_{29}Cu + ...$

1-ماطبيعة التفكك في كل معادلة

2-اكتب الصيغة الكاملة لتفكك

3- احسب طاقة التفكك لكل معادلة

$M(^{10}C) = 10.016856u$ $M(^{65}Cu) = 64.927793u$

$M(^{65}Ni) = 64.930086u$ $M(^{10}B) = 10.0112937u$

التمرين -12-

احسب طاقة التفاعل الأتي

$^{247}Bk \rightarrow ^{243}Am + \alpha$

احسب الطاقة الحركية وسرعة النواة الوليدة

$M(^{247}Bk) = 247.070300u$ $M(^{243}Am) = 243.061375u$ $M(^{4}_{2}He) = 4.002603u$

التمرين -13-

يتفكك ^{242}Cm إلى ^{238}Pu بواسطة أشعة α طاقتها القصوى $6112.9 \pm 0.1kev$

اوجد كتلة ^{242}Cm مع العلم أن $M(^{238}Pu) = 238.049555u$

التمرين -14-

يمتص النظير ^{113}Cd نيترونا ذو طاقة ضعيفة جدا ويعطي حالة مثارة $^{113}Cd^{*}$ الذي يصدر إشعاع γ ويعطي النواة ^{114}Cd في حالتها الأساسية

1- اكتب تسلسل التفاعل والتفكك

2- ماهي طاقة الإشعاع γ اذا اهملنا طاقة التردد النواة الوليدة

3- احسب طاقة تردد النواة ^{114}Cd

$M(^{113}Cd) = 112.9044u$ $M(^{114}Cd) = 113.903357u$

التمرين -15-

نحاول دراسة الحالات الأولى المثارة ل ^{35}Cl* و هي (1.219، 1.763 ، 2.646 ،2.694 ، 3.003 ، 361.3 Mev) من خلال التفاعل :(αp ،)^{32}.S

1- أعط شكل التفاعل

2- إذا كانت T_{α} = 5 veM فما هي الحالات المثارة التي بالإمكان التحصل عليها .

$M(^{35}Cl) = 34.968853u$; $M(P) = 1.00727647u$, $M(^{32}S) = 31.972071u$

$M(^{4}He) = 4.002603u$

التمرين -16-

شخص يأخذ جرعة 1g من اليود131 $^{131}_{53}I$ عمر النصف لهذه النوى هو $t_{1/2}$ = 8 Jours

1- حدد كتلة اليود 131 المتبقية بعد 16 يوم , 32 يوم ثم بعد 8 .n jours (n عدد صحيح)

2- ما كتلة اليود 131 المتبقية بعد 4 أيام

3- استنتج إذن عدد نوى اليود 131 المتبقية بعد 4 أيام

4- ما اللحظة التي تبقى فيها 1ng من اليود

5- ما اللحظة التي تكون فيها % 99 من اليود .

التمرين -17-

1- احسب النسبة بين طاقات جسيمات ألفا المنطلقة من النظائر الراديوم ^{223}Ra ^{224}Ra ^{226}Ra

تتحلل هذه النظائر بانطلاق جسيمات α حدد النشاط الإشعاعي لكل نظير مشع إذا كانت كتلة العينة في البداية 10 mg

2- تتفكك النواة ^{24}Na إلى النواة ^{24}Mg مع إصدار β^-

- احسب أقصى طاقة ينطلق بها جسيم β^-

المعطيات :

$M_{^{226}Ra} = 226.0254098u$, $M_{^{223}Ra} = 223.0185022u$, $M_{^{224}Ra} = 224.0202112u$

$M_{^{24}Na} = 23.99096278u$

المحور الرابع
الطاقة النووية

1.IV .مقدمة

لقد بات من الضروري اليوم البحث عن بدائل جديدة للطاقة، نظراً لكون مصادرها التقليدية محدودة، ونظراً لوجود استعمالات مهمة لها وبخاصة البترول، وكذلك نظراً لما تحدثه هذه المصادر من تلوث البيئة سواء عند الاستخراج والنقل أو عند إنتاج الطاقة، قد يؤدي ذلك إلى مخاطر جسيمة للبيئة. والطاقة النووية هي أحد هذه المصادر البديلة ، وهنالك نوعان من التفاعلات النووية التي يمكن عن طريقها إنتاج الطاقة وهما: الانشطار النووي والاندماج النووي.

2.IV. الانشطار النووي

الانشطار النووي هو عملية انقسام نواة ذرة ثقيلة إلى قسمين أو أكثر، وبهذه العملية يتحول عنصر معين إلى عنصر أخر وينتج عن عملية الانشطار جسيمات نووية مثل جسيماتα وأشعة β ونيوترونات وفوتونات عالية الطاقة .يؤدي انشطار العناصر الثقيلة إلى تولد كميات ضخمة من الطاقة الحرارية والإشعاعية .تستخدم عملية الانشطار النووي في إنتاج الطاقة الكهربائية في المفاعلات النووية، كما تستعمل لإنتاج الأسلحة النووية .ومن العناصر النووية الانشطارية الهامة والتي تستخدم كثيراً في المفاعلات الذرية مادتي اليورانيوم–235 وبلوتونيوم–239، والتي هي عماد الوقود النووي .وفي الوقود النووي يتم ما يسمى بالتفاعل المتسلسل حيث يصطدم نيوتروناً مع نواة ذرة اليورانيوم–235 فتنقسم إلى قسمين؛ ويصاحب هذا الانقسام انطلاق عدد من النيوترونات يقدر عادة من 2–3 نيوترونات وفي المتوسط 2.5 نيوترون. ويمكن لتلك النيوترونات الناتجة أن تصطدم بأنوية أخرى من اليورانيوم–235 وتتفاعل معها وتعمل على انشطارها. بذلك يزيد معدل التفاعل زيادة تسلسلية قد يؤدي إلى الانفجار إذا لم ننجح في ترويضه والتحكم فيه .وفي المفاعلات النووية التي تستخدم لإنتاج الطاقة الكهربائية يُستعمل اليورانيوم–235 أو البلوتونيوم–239 بنسبة 5.3% في مخلوط أكسيد اليورانيوم لإنتاج الطاقة. ويحتاج مفاعل نووي كبير يعمل بقدرة 1000MW إلى نحو 100Ton من أكسيد اليورانيوم تكفيه لمدة ثلاثة سنوات. إلا أن الطريقة الاقتصادية لتشغيل المفاعل النووي تتطلب إيقاف تشغيل المفاعل كل سنة لمدة عدة أسابيع، يجري خلالها استبدال ثلث كمية الوقود النووي المستهلك بوقود جديد، وكذلك لإجراء أعمال الصيانة والتفتيش عن أي خلل قد يحدث ومعالجة الخلل .

1.2.IV..تاريخ اكتشاف الانشطار النووي

كان إنريكو فيرمي أول من قام بتصويب النيوترونات على اليورانيوم عام 1934 ولكنه لم ينجح في تفسير النتائج. وقام العالم الكيميائي الألماني أوتو هان وزميلته ليز مايتنر وزميلهما فريتز ستراسمان بتلك

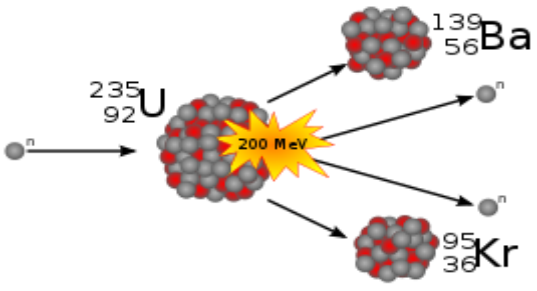
الأبحاث وقاموا بتحليل المواد الناتجة عن التفاعل. وكانت مفاجأة لم يستطيعوا تفسيرها أولاً، إذ أنهم وجدوا عناصر جديدة تكونت من خلال التفاعل .وكان أن أعادوا التجربة باستخدام يورانيوم عالي النقاء، فكانت النتيجة هي ما وجدوه من قبل وتكوّن عنصر الباريوم .والعدد الذري للباريوم نصف العدد الذري لليورانيوم تقريباً. كان ذلك عام 1938 وبعدها بدأت الحرب العالمية الثانية واضطرت ليزا مايتنر إلى مغادرة ألمانيا نظراً لاضطهاد النازية لليهود .وسافرت ليزا إلى السويد حيث كان أحد أقربائها يعمل هناك وهو روبرت فريتش. وقصت عليه نتائج تجربة اليورانيوم .

وفي مطلع عام 1939 فطن أتوهان وشتراسمان إلى تفسير التفاعل الذي حدث وأنه انشطار لنواة ذرة اليورانيوم وتكون الباريوم ونشر نتيجة أبحاثه في المجلة العلمية. وفي نفس الوقت استطاعت مايتنر بمساعدة فريتش تفسير تجربة اليورانيوم على أنها انشطار نووي، واستطاع الاثنان إكمال التفسير بأنه من خلال انقسام نواة اليورانيوم يحدث فقد في الكتلة بين وزن اليورانيوم ووزن الباريوم والمنتجات الأخرى الناتجة عن الانقسام، وقدّرا تلك الكتلة بأنها نحو 5/1 من كتلة البروتون، أي أن طاقة تقدر بنحو 200Mev تتحرر من كل انقسام، وهي طاقة بالغة للغاية .وسافر الاثنان بعد ذلك إلى الولايات المتحدة واجتمعا مع أينشتاين وقصّا عليه نتيجة أبحاثهما .

وكانت مجموعة من العلماء تعمل في فرنسا تحت رئاسة بيار كوري زوج ماري كوري –مكتشفة البولونيوم –واكتشفوا أنه خلال انشطار نواة اليورانيوم ينطلق عدد من النيوترونات قدروه بـ 5.3 في المتوسط إلا أنهم عدّلوا ذلك العدد إلى 6.2 نيوترونات في المتوسط لكل انشطار فيما بعد .ولما عرف أينشتاين وزميله زيلارد بأمريكا نتائج مايتنر وفريتش بالإضافة إلى نتائج المجموعة الفرنسية عن النيوترونات المصاحبة للانشطار قام أينشتاين وزيلارد بتوجيه خطابا إلى الرئيس الأمريكي آنذاك روزفيلت يعرفوه بتلك النتائج العلمية الخطيرة والتحذير من إمكانية سعي الألمان لاستغلال تلك المعلومات لصنع قنبلة ذرية يكون لها مفعولاً فظيعاً، خصوصاً وأن الحرب قد بدأت في أوروبا بهجوم الألمان على بولندا. ووصل خطاب

أينشتاين وزيلاد إلى الرئيس الأمريكي في يناير 1939 .قامت الحكومة الأمريكية في البدء بتشجيع الأبحاث النووية، وقام إنريكو فيرمي، وكان يعمل في جامعة شيكاغو آنذاك، ببناء أول كومة ذرية مكونة من اليورانيوم والجرافيت، واختار الجرافيت كمهدئ لسرعة النيوترونات، ونجح في

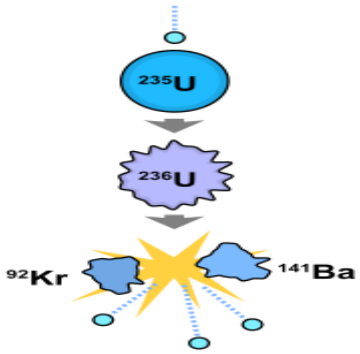
توصيل الكومة الذرية إلى الحالة الحرجة، وكان ذلك في ديسمبر عام 1942 .ثم دخلت الولايات المتحدة الحرب وكان هناك خوف كبير من أن يركز الألمان بحوثهم لصناعة قنبلة ذرية، فبدأت الولايات المتحدة مشروع مانهاتن عام 1942 بغرض إنتاج السلاح النووي وعينت اوبنهايمر لرئاسة المشروع، وجمع أوبنهايمر العلماء من جميع أنحاء البلاد للتركيز على ذلك العمل وكان العمل يسير بتكتم شديد. واتضح أن صناعة القنبلة الذرية يحتاج إلى اليورانيوم-235 عالي النقاوة، كما توصلوا إلى أن عنصر البلوتونيوم-239 وهو من منتجات الكومة الذرية التي بناها فيرمي في جامعة شيكاغو له نفس خواص اليورانيوم-235، فعزم العاملون في مشروع مانهاتن على اتباع الطريقتين في نفس الوقت لضمان التوصل إلى صنع القنبلة. وكان أن قاموا بمشروع لتخصيب اليورانيوم-235 وفصله عن اليورانيوم-238، وقاموا في نفس الوقت بتوليد البلوتونيوم-239 في مفاعل نووي بنوه لذلك الغرض. وأدت تلك المجهودات إلى إنتاج قنبلتي هيروشيما ونجازاكي اللتان ألقيتا من الجو على اليابان في 6 أغسطس و 11 أغسطس 1945، واستسلمت على أثرهما اليابان وأنتهت الحرب مع أمريكا .



الشكل IV.1 انشطار نواة اليورانيوم-235

2.2.IV . تفاصيل تفاعل الانشطار النووي

يختلف الانشطار النووي عن عملية التحلل الإشعاعي من ناحية انه يمكن السيطرة على عملية الانشطار النووي خارجيا. تقوم النيوترونات الحرة الناتجة من كل عملية انشطار وهي في المتوسط 5 و2 نيوترونا، بالتفاعل مع اليورانيوم أو البلوتونيوم وتتسبب في انشطارها. وهذا بالتالي يؤدي إلى تحرير نيوترونات أخرى. وتستمر هذه السلسلة من التفاعلات التي تسمى تفاعل متسلسل .يطلق على نظائر عناصر كيميائية لها القدرة على تحمل هذه السلسلة الطويلة من الانشطارات النووية اسم الوقود النووي .من أكثر أنواع الوقود النووي استعمالا هي اليورانيوم ذو كتلة ذرية رقم 235) يورانيوم−235 (وبلوتونيوم ذو كتلة ذرية رقم 239) بلوتونيوم−239(، هذين العنصرين ينشطران بصورة بطيئة جدا تحت الظروف الطبيعية التي تسمى بالانشطار التلقائي وتأخذ هذه العملية التلقائية ما يقارب 550 مليون سنة عمر النصف لليورانيوم. أما في المفاعل النووي فتجمع كمية من الوقود النووي فوق الكتلة الحرجة ويجري التحكم فيها بواسطة قضبان تتخللها من الكادميوم الماصة للنيوترونات. بذلك يمكن المحافظة على معدل سير التفاعل لإنتاج الطاقة ومنعه من الانفلات وأحداث الدمار .



الشكل 2.IV تفاعل الانشطار النووي لليورانيوم−235 بواسطة النيوترون.

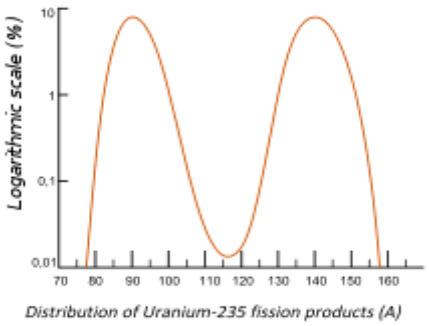
3.2.IV . نواتج الانشطار

ينتج عن انشطار نواة اليورانيوم نواتين صغيرتين في أغلب التفاعلات، كما من الممكن أن ينتج عن الانشطار أكثر من نواتين. وقد تكون «أنصاف» نواة اليورانيوم الناتجة زوجا من نوكليدات مختلفة. وغالبا ما تنتج نواة لها كتلة ذرية خفيفة نسبيا (نحو 90) مصحوبة بنواة ثقيلة) كتلة ذرية .(140 ولذلك يبين منحنى توزيع الأنوية الناتجة عن الانشطار قمتين (توزيع كتلة الأنوية الناتجة). ويبقى مجموع البروتونات

والنيوترونات قبل التفاعل وبعده ثابتا. وعل سبيل المثال نذكر هنا حالتين ممكنتان للانشطار النووي للبلوتونيوم−239 بواسطة امتصاصه لأحد النيوترونات:

$$^{239}_{94}\mathrm{Pu} + ^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow ^{130}_{51}\mathrm{Sb} + ^{107}_{43}\mathrm{Tc} + 3\ ^{1}_{0}\mathrm{n}$$

$$^{239}_{94}\mathrm{Pu} + ^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow ^{144}_{56}\mathrm{Ba} + ^{94}_{38}\mathrm{Sr} + 2\ ^{1}_{0}\mathrm{n}$$



الشكل 3.IV توزيع الأنوية الناتجة عن الانشطار بحسب كتلهم الذريةA

نواتج الانشطار تكون أنوية ذرية متوسطة الكتلة، وفي نفس الوقت غنية بالنيوترونات. وهي لذلك عناصر غير مستقرة ويصدرون في العادة نيوترونات زائدة عن مقدرتهم الاحتفاظ بها خلال عدة ثوان من بعد تكونهم، وتكون لهم أهمية في ضبط معدل التفاعل الجاري في مفاعل نووي .وتتحلل بعض تلك الأنوية الناتجة عن الانشطار عن طريق تحلل بيتا إلى عناصر أخرى. وتحلل بيتا لا يغير من الكتلة الذرية وينتهي تحلل بيتا المتتابع عند نواة مستقرة، وقد تستغرق تحللات بيتا الأخيرة قرب الوصول إلى العنصر المستقر أعمار النصف طويلة على مدي مئات السنين أو آلاف السنين. ولمعرفة سلاسل نواتج تحلل بيتا التالية للانشطار يمكن الرجوع إلى المصادر العلمية مثل:.ينتج عن كل انشطار لنواة يورانيوم واحدة قدر هائل من الطاقة يبلغ نحو 200 مليون إلكترون فولت تظهر في صورة حرارة وإشعاع، ويمكن

استغلال الحرارة لتوليد بخار ماء، ومن بخار الماء توليد كهرباء عن طريق توربين ومولد كهربائي، وهذا ما يجري في مفاعل نووي.

IV.4.2. مميزاته وعيوبه

العلماء ينظرون إلى الطاقة النووية كمصدر حقيقي لا ينضب للطاقة. ومما يثير المعارضة حول مستقبل الطاقة النووية هو التكاليف العالية لبناء المفاعلات، ومخاوف العامة المتعلقة بالسلامة، وصعوبة التخلص الآمن من المخلفات عالية الإشعاع. بالنسبة إلى التكلفة فهي عالية نسبيا من حيث بناء المفاعل ولكن تلك التكاليف تعوض بمرور الوقت حيث أن الوقود النووي رخيص نسبيا. وأما بالنسبة إلى المخاوف المذكورة فهي تُستغل من الأحزاب السياسية في الانتخابات بين مؤيدين ومعارضين بغرض الحصول على مقاعد كثيرة في البرلمانات. وقد تقدمت الصناعات النووية كثيرا بحيث أن لديها الاستعدادات لحل مسائل سلامة تشغيل المفاعلات والتخلص السليم من النفايات المشعة.

يتسبب الاشعاع النووي عند الجرعات الإشعاعية الكبيرة في تشوهات وإعاقات تصعب معالجتها وقد يصل تأثيرها إلى حد موت من يصاب بها. ويؤثر الإشعاع النووي مباشرة على مكونات الخلايا الحية نتيجة تفاعلات لا علاقة لها بالتفاعلات الطبيعية في الخلية. وحجم الجرعة المؤثرة يختلف حسب نوعية الكائن الحي فهناك حشرات تموت عندما تمتص أجسامها طاقة نووية تصل فقط 20 جراي (وحدةْ) (1 جراي == جول لكل كيلو جرام من الجسم المعرض للإشعاع النووي Gray == J/kg)، وحشرات لا تموت إلا عندما تصل الجرعة إلى حوالي 3000 جرَأيْ (ضعف الجرعة السابقة 150 مرة). تأثر الثدييات يبدأ عند جرعة لا تزيد عن 2 جْراي، والفيروسات تتحمل جرعة تصل 200 جراي أي ضعف الجرعة المؤثرة على الثدييات 100 مرة.

وكمية النفايات المشعة نتيجة الانشطار النووي بمحطات إنتاج الكهرباء بالمفاعلات النووية محدودة مقارنة بكمية النفايات بالمحطات الحرارية التي تعمل بالطاقة الأحفورية كالنفط أو الفحم. فالنفايات النووية

تصل 3mg/kWh مقابل حوالي 700g ثاني أكسيد الكربون لكل كيلو واط ساعة بالمحطات الحرارية العادية لكن هذه الكمية الصغيرة جدا من الإشعاع النووي قد تكون قاتلة أو قد تتسبب في عاهات وتشوهات لا علاج لها. لهذا فإن جميع الدول التي تستخدم الطاقة النووية لإنتاج الطاقة الكهربائية تعمل على التخلص من تلك النفايات المشعة بدفنها في الطبقات الجيولوجية العميقة تحت سطح الأرض بعيدا عن الناس، وقد تستمر فاعلية الإشعاعات لقرون بل لآلاف السنين حتي يخمد هذا الإشعاع أو يصل إلى مستوى يعادل الإشعاع الطبيعي. لهذا يحاول العلماء حالياً توليد الطاقة النووية عن طريق الاندماج النووي بدلا من الانشطار النووي الذي تنشطر فيه ذرات اليورانيوم وتعطي بروتونات ونيوترونات وجسيمات دقيقة، تُحول حركتها إلى حرارة في ماء التبريد ومن بخاره المرتفع الضغط تُولد الطاقة الكهربائية. ومشكلة توليد الكهرباء من المفاعلات النووية تتمثل في النفايات المشعة التي تسفر عن العملية. وهذه النفايات ضارة بالبشر وهذا ما جعل العلماء يسعون للحصول علي الطاقة عن طريق تقنية الاندماج النووي التي تجري حاليا في الشمس والتي تسفر عن نفايات مشعة قليلة.

IV.3.الاندماج النووي

IV.3.1. تعريفه

تفاعل الاندماج النووي (يعرف أيضا بالـ تيرمونووي) هو، بالإضافة إلى الانشطار، أحد أهم أنواع التفاعلات النووية التطبيقية .

الاندماج النووي عملية تتجمع فيها نواتان ذريتان لتكوين نواة واحدة أثقل. ويلعب اندماج الأنوية الخفيفة مثل البروتون وهو نواة ذرة الهيدروجين والديوترون نواة الهيدروجين الثقيل والتريتيون وهو نواة التريتيوم دوراً هائلاً في العالم وفي الكون، حيث ينطلق خلال هذا الاندماج كمية هائلة من الطاقة تظهر على شكل حرارة وإشعاع كما يحدث في الشمس، فتمدنا بالحرارة والنور والحياة. فبدون هذا التفاعل ما وُجدت الشمس وما وُجدت النجوم، ولا حياة من دون تلك الطاقة المسماة طاقة الاندماج النووي. وتنتج تلك الطاقة الهائلة

عن فقد في وزن النواة الناتجة عن الاندماج النووي، وهذا الفقد في الكتلة يتحول إلى طاقة طبقاً لمعادلة ألبرت أينشتاين التي تربط العلاقة بين الكتلة والطاقة.

هذا التفاعل هو الذي يغذي الشمس وباقي النجوم الأخرى في الكون، ويمدهم بالحرارة والضوء.

فائدة الاندماج النووي تكمن في إطلاقه كميات طاقة أكبر بكثير مما يطلقه الانشطار. وبالإضافة إلى ذلك، فإن المحيطات تحتوي بشكل طبيعي على كميات كافية من الدويتريوم اللازم للتفاعل فإذا فلح الإنسان في ترويض تلك الطاقة لتغذية الكوكب بالطاقة لمدة آلاف السنين، كما أن المواد المنبعثة عن الاندماج (خصوصا الهيليوم 4)، ليست مواداً مشعّة.

و على الرغم من العدد الكبير من التجارب التي تم القيام بها في كل أنحاء العالم منذ خمسين سنة، فإنه لم يتم التوصل إلى بناء مفاعل يعمل بالاندماج، ولكن الأبحاث في تقدم مستمر لغرض التوصل إلى ذلك. وكل ما اسطاع الإنسان التوصل إليه في هذا المجال جاء في المجال العسكري بابتكار القنبلة الهيدروجينية.

IV.3.2. كيفية الحصول عليه

يحدث تفاعل الاندماج النووي عندما تتداخل نواتان ذريتان. ولكي يتم هذا التداخل، لا بد من أن تتخطى النواتان التنافر الحاصل بين شحنتيهما الموجبتين (و تعرف الظاهرة بالحاجز الكولومبي). إذا ما طبقنا قواعد الميكانيكا الكلاسيكية وحدها، سيكون احتمال الحصول على اندماج الأنوية منخفضا للغاية، بسبب الطاقة الحركية (الموافقة للهيجان الحراري) العالية جدا اللازمة لتخطي الحاجز المذكور. وفي المقابل، تقترح ميكانيكا الكم، وهو ما تؤكده التجربة، أن الحاجز الكولومبي يمكن تخطيه أيضا بظاهرة النفق الكمومي، بطاقات أكثر انخفاضا.

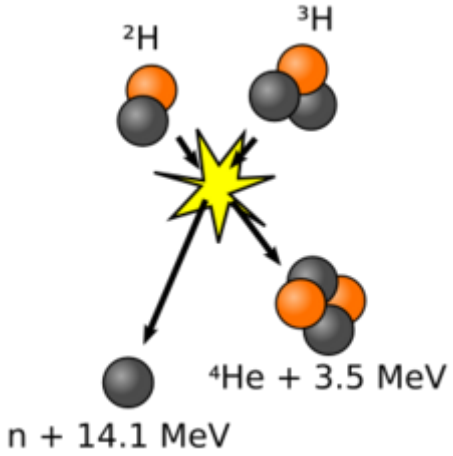
وبالرغم من ذلك، فإن الطاقة اللازمة للاندماج تبقى مرتفعة جداً، وهو ما يقابله حرارة أكثر من عشرات أو ربما مئات الملايين من الدرجات المئوية حسب طبيعة الأنوية. وفي داخل الشمس على سبيل المثال، يجري تفاعل اندماج الهيدروجين المؤين عبر مراحل إلى تولد الهليوم، في ظل حرارة تقدر ب 15 مليون درجة مئوية، ويحدث ذلك ضمن عدة تفاعلات مختلفة تنتج عنها حرارة الشمس. وتُدرس بعض تلك التفاعلات بين نظائر الهيدروجين بغرض إنتاج الطاقة عبر الاندماج مثل الديوتيريوم–ديوتيريوم أو الديوتيريوم–تريتيوم (انظر أسفله). أما في الشمس فتتواصل عملية الاندماج إلى العناصر الخفيفة ثم المتوسطة ثم ينتج منها العناصر الثقيلة مثل الحديد، الذي يحتوي في نواته على 26 بروتون ونحو 30 من النيوترونات. وفي بعض النجوم الأكثر كتلة عن الشمس، تتم عمليات اندماج لأنوية أضخم تحت درجات حرارة أكبر.

وعندما تندمج أنوية صغيرة، تنتج نواة غير مستقرة تسمي أحيانا نواة مركبة، ولكي تعود إلى حالة استقرار ذات طاقة أقل، تُطلق جسيم أو أكثر (فوتون، نيوترون، بروتون، على حسب التفاعل)، وتتوزع الطاقة الزائدة بين النواة والجسيمات المطلقة في شكل طاقة حركيّة. وطبقاً للرسم التوضيحي تنطلق نواة ذرة الهيليوم بطاقة قدرها 3و5Mev وينطلق النيوترون بطاقة قدرها14,1 Mev. وفي المفاعلات الاندماجية الجاري تطبيقها حاليا يجتهد العلماء للحصول على مردود جيد من الطاقة خلال الاندماج، أي من الضروري أن تكون الطاقة الناتجة أكبر من الطاقة المستهلكة لتواصل التفاعلات واستغلال الحرارة الناتجة في إنتاج الطاقة الكهربائية. كما يجب عزل محيط التفاعل ومواد المحيط في المفاعلات الاندماجية.

عندما لا يوجد أي وضع مستقر، تقريبا، قد يكون من المستحيل أن نقوم بإدماج نواتين.

إن التفاعلات الاندماجية التي تطلق أكبر قدر من الطاقة هي تلك التي تستخدم أكثر الأنوية خفّة لإنتاج الهيليوم، لأن الهيليوم ونواته جسيم ألفا هي أقوى نواة ذرة على الإطلاق من جهة تماسكها، فهي تحتوي على 2 بروتون و 2 نيوترون وهؤلاء الأربعة شديدو التماسك بحيث يتحول جزء يعادل 005 .0 من

كتلتهم كما في التفاعل الموضح بالرسم(الشكل **الشكل 4.IV**)،إلى طاقة حركة تتوزع بين نواة الهيليوم الناتجة والنيوترون.



الشكل 4.IV التفاعل الاندماج نواة الهيدروجين

ومجموع الطاقتين الموزعتين = 3,5 + 14,1 = 17,6Mev. وبالتالي فإن أنوية الدويتيريوم (بروتون واحد ونيوترون واحد) والتريتيوم (بروتون واحد ونيوترونان)، مستخدمة في التفاعلات التالية :

ديوتيريوم + ديوتيريوم –> هيليوم 3 + نيوترون

ديوتيريوم + ديوتيريوم –> تريتيوم + بروتون

ديوتيريوم + تريتيوم –> هيليوم 4 + نيوترون

ديوتيريوم + هيليوم–3 –> هيليوم–4 + بروتون

و هذه التفاعلات هي أكثر التفاعلات دراسة في المخابر عند تجارب الاندماج المراقبة، وكل منها ينتج نحو 17Mev من الطاقة.

3.3.IV.الاندماج المتحكم فيه

يمكن التفكير في عدة طرق تمكّننا من احتجاز محيط التفاعل للقيام بتفاعلات اندماج نووية، ويقوم العلماء فعلا بتلك التجارب بواسطة الاحتجاز المغناطيسي لما يسمى البلازما في جهاز مفرغ من الهواء

مع رفع درجة حرارة البلازما إلى عشرات الملايين درجة مئوية. ولكن احتجاز البلازما – وهي أنوية التريتيوم و

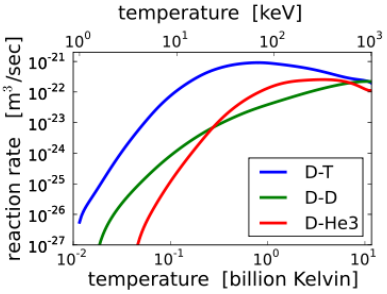
الديوتيروم العارية من الإلكترونات – تحت هذه الحرارة العالية صعب جدا إذ كلها تحمل شحنة كهربائية موجبة تجعلهم يتنافرون عن بعضهم. فما يلبث التفاعل أن يبدأ بينهم لمدة أجزاء من الثانية حتى يتنافروا ويتوقف التفاعل. وينصب حاليا اهتمام العلماء على ابتكار وسيلة يستطيعون بها إطالة مدة انحصار البلازما وإطالة مدة التفاعل. وتلك المجهودات ما هي إلا بغرض استغلال طاقة الاندماج النووي لإنتاج الطاقة الكهربائية.

IV.4.3.الاندماج بالاحتجاز المغناطيسي

التوكاماك، حيث يحتجز خليط من نظائر الهيدروجين بواسطة حقل مغناطيسي بالغ الشدة.

الستيلاتور، حيث تؤمن الحواث (inductors) الاحتجاز بالكامل.

بلازما الاندماج :



الشكل IV.5 العلاقة بين درجة الحرارة ومعدل التفاعل

رسم بياني يوضح العلاقة بين درجة الحرارة ومعدل التفاعل لثلاثة أنواع من التفاعلات الاندماجية.

عندما تصل الحرارة الدرجة التي يحصل فيها الاندماج، تكون المادة في حالة بلازما. إنها حالة خاصة للمادة الأولية، تكوّن فيها الذرات أو الجزيئات غازا أيونيا.

تحت درجات الحرارة العالية يتم اقتلاع إلكترون أو أكثر من السحابة الإلكترونية المحيطة بكل نواة، مما ينتج عنه أيونات موجبة وإلكترونات طليقة.

ينتج عن التحرك الكبير للأيونات والإلكترونات داخل بلازما حرارية، عدة اصطدامات بين الجسيمات الموجبة الشحنة الكهربية. ولكي تكون هذه الاصطدامات قوية بما فيه الكفاية لإنشاء تفاعل اندماجي، تتدخل ثلاث عوامل :

الحرارة T ; الكثافة N ; زمن الاحتجاز τ.

حسب لوسون فإن المعامل $N\tau$ يجب أن يصل حدا فاصلا للحصول على الـ breakeven حيث تكون الطاقة الناتجة عن الاندماج مساوية للطاقة المستخدمة. يحدث الإيقاد إثر ذلك في مرحلة أكثر إنتاجا للطاقة (لم يتوصل العلماء لإيجادها حتى اليوم في المفاعلات التجريبية الحالية). إنه الحد الذي يكون التفاعل إثره قادرا على المواصلة من تلقاء ذاته من دون انقطاع. لتفاعل ديتوريوم + تريسيوم، يقدّر هذا الحد بـ $1014\ S/cm^3$.

IV.5.3. المشاكل التي واجهت العلماء

1- الحصول على درجة حرارة عالية تبلغ ملايين الدرجات المئوية لتحويل نظائر الهيدروجين إلى حالة البلازما أي الحالة المتأينة منها ولتكتسب طاقة الحركة اللازمة للتغلب على قوى التنافر بين الأنوية .

2- تجميع البلازما فى مركز الوعاء الحاوى للوقود وذلك لإبعادها عن الجدران فتصبح البلازما معزولة ولا تتسرب طاقتها إلى الوسط المحيط بها وبذلك تحافظ على درجة حرارتها وترتفع فيها درجة الحرارة والضغط تدريجياً حتى تتم عملية الاندماج .

ولتحقيق هذه الشروط يوضع خليط الديوتيريوم والتريتيوم بكمية بسيطة داخل وعاء مفرغ إلى ضغط منخفض ويمر فى الوعاء تيار كهربى تبلغ شدته مئات الآلاف من الأمبيرات ونتيجة مرور التيار تنشأ حرارة عالية ترفع درجة حرارة نظائر الهيدروجين فتتحول إلى حالة البلازما وفى نفس الوقت يتولد مجال مغناطيسى قوى جداً يعمل على تجميع البلازما فى شريط رفيع وشديدة الإضاءة ذو ضغط وحرارة عالية وبعيداً عن جدران الوعاء .

– ومن الجدير بالذكر الإشارة إلى صعوبة الحصول_على شدة التيار المطلوبة لأن هذا يتطلب بناء مولد كهربى الذى يقوم بتوليد فرق جهد يساوى مئات الملايين من الفولت بدون توقف . ويبين الشكل أساسيات أحد أجهزة الاندماج النووى الذى يعرف باسم توكاماك.

IV.6.3.مميزات الاندماج النووى

يتميز الاندماج النووى عن الانشطار النووى كمصدر للطاقة بالمميزات الآتية :

1– وفرة الوقود الاندماجى فمن المعروف أن الديوتريوم يوجد فى الماء الثقيل بمياه البحر حيث يكون نسبته إلى الماء العادى 1 : 6000 . وهذه الكمية من الديوتريوم تكفى لإنتاج الطاقة اللازمة للبشرية لحوالى 20 ألف مليون سنة .

2– الطاقة الناتجة من المفاعل الاندماجى أكبر من طاقة المفاعل الانشطارى فالكيلو جرام من اليورانيوم ينتج طاقة تعادل 22.9 مليون كيلووات ساعة بينما الكيلو جرام من الديوتيريوم ينتج 177.5 مليون كيلووات ساعة أي أنها أكبر بحوالى ثمان مرات .

3– لا تتخلف نظائر مشعة من عملية الاندماج النووى بينما يتخلف من عملية الانشطار النووى نفايات عالية الإشعاع التى تقدر بحوالى 8000 Ton سنوياً من المفاعلات النووية العاملة فى العالم .

يرتكز انتاج الطاقة في المفاعلات النووية على الانشطار النووي لليورانيوم 235، إلا انه خلال تفاعلات الانشطار تتولد بعض النوى

الإشعاعية النشاط التي قد تضر بالبيئة .

-تجرى حاليا أبحاث حول كيفية تطوير انتاج الطاقة النووية باعتماد الاندماج النووي لنظائر عنصر الهيدروجين.

تمارين

التمرين1

يؤدي تفاعل الانشطار النووي الذي يحدث في قلب مفاعل نووي ، اثر تصادم نواه اليورانيوم ^{235}U بنترون الى تكون نواة السيزيوم ^{146}Ce ونواة السيلينيوم ^{85}Se وعدد من النوترونات وذلك وفق المعادلة التالية

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{146}_{58}Ce + ^{85}_{z}Se + \chi \ ^{1}_{0}n$$

1- احسب Z و X

2 – احسب بالـ Mev الطاقة E الناتجة عن الانشطار النووي لنواة واحدة من اليورانيوم ^{235}U

ثم استنتج الطاقة E_1 الناتجة عن انشطار 1g من $^{235}_{92}U$

3. – تتحول تلقائيا نواة السيزيوم ^{146}Ce إلى نواة برازيوديم $^{146}_{59}Pr$ مع انبعاث دقيقية β^-

احسب المدة الزمنية اللازمة لتحول 99% من عينة نوى السيزيوم ^{146}Ce ،

علما ان ثابت النشاط الإشعاعي لنواة السيزيوم $\lambda = 5{,}13 \cdot 10^{-2}\ min^{-1}$

التمرين2

ينتج الدوتريوم $^{2}_{1}H$ ونواة الترتيوم $^{3}_{1}H$ تكون نواة الهليوم He ونترون واحد حسب المعالدلة :

الطاقة المحررة خلال اندماج 1 g من H هي $E_2 = -5{,}13 \cdot 10^{24}$ Mev

اعط مبررين لاعتماد الاندماج النووي عوض الانشطار النووي في انتاج الطاقة.

التمرين 3

تنشطر نواة اليورانيوم 235 ،عند قذفها بنترون بطيء، وفق التفاعل ذي معادلة:

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{94}_{38}Sr + ^{140}_{Z}Xe + x\,^{1}_{0}n$$.

1- تستخدم النترونات عادة في قذف أنوية اليورانيوم. لماذا؟

2- أكمل معادلة التفاعل النووي المبينة أعلاه.3-فسر الطابع التسلسلي لهذا التفاعل، مستعينا بمخطط توضيحي.

3-أ/أحسب النقص في الكتلة Δm خلال هذا التحول.

ب/أحسب بالجول الطاقة E_{lib} المحررة من انشطار نواة واحدة من اليورانيوم 235 .

جـ/استنتج الطاقة المحررة من انشطار $m = 2,5g$ من اليورانيوم 235 .د/ على أي شكل تظهر هذه الطاقة؟

هـ/ يستهلك مفاعل نووي $2,5Kg$ من اليورانيوم 235 يوميا،استنتج استطاعة هذا المفاعل.

6

4-ما هي كتلة غاز المدينة (غاز الميثان) اللازمة للحصول على طاقة تعادل الطاقة المحررة من انشطار $m = 2,5g$

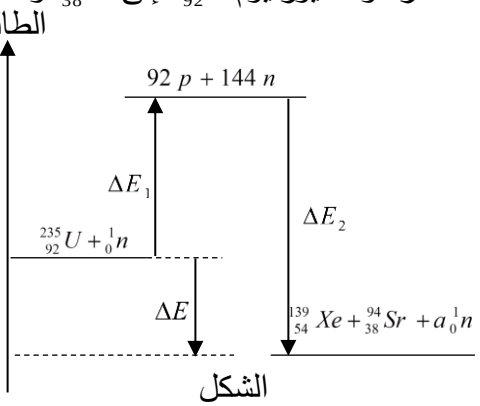
من اليورانيوم 235 ؟علما أن احتراق $1mol$ من غاز الميثان يحرر طاقة مقدارها $8,0\times10^5 J$.

المعطيات:

$$m(^{140}Xe) = 139,89194u, m(^{94}Sr) = 93,89446u, m(^{235}U) = 234,99332u, m(^{1}n) = 1,00866u$$
$$M(CH_4) = 16g.mol^{-1}, N_A = 6,02\times10^{23}mol^{-1}, 1u = 1,66\times10^{-27}kg, c = 3\times10^8 m.s^{-1}$$

التمرين 4

المخطط الطاقوي (الشكل) يمثل الحصيلة الطاقوية لتفاعل انشطار نواة اليورانيوم $^{235}_{92}U$ إلى $^{94}_{38}Sr$ و $^{139}_{54}Xe$ إثر قذفها بنيترون $^{1}_{0}n$.



1-أ/ عرف طاقة الربط للنواة وأكتب عبارتها الحرفية.

ب/أعط عبارة الطاقة لكل نوية.

2- أكتب معادلة انشطار نواة اليورانيوم $^{235}_{92}U$.

3-أحسب بـ MeV كلا من: ΔE_1 و ΔE_2 و ΔE .

المعطيات: $N_A = 6{,}02\times10^{23}mol^{-1}, 1MeV = 1{,}6\times10^{-13}J$

$\frac{E_l}{A}(^{139}_{54}Xe) = 8{,}34MeV/nucléon, \frac{E_l}{A}(^{94}_{38}Sr) = 8{,}62MeV/nucléon, \frac{E_l}{A}(^{235}_{92}U) = 7{,}62MeV/nucléon, m(^1_0n) = 1{,}00866u$

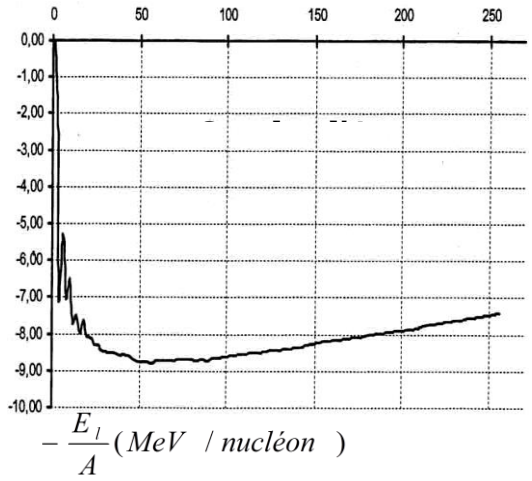
التمرين 5

الوقود المستقبلي سيعتمد على تفاعلات الاندماج النووي وفق المعادلة: $^2_1H + ^3_1H \rightarrow ^A_ZX + ^1_0n$.

1-جد قيمتي العددين A و Z باستعمال قانوني الانحفاظ. 2-عرف تفاعل الاندماج النووي.

3-رتب الأنوية ^2_1H ، ^3_1H و ^A_ZX من الأقل إلى الأكثر استقرار مع التعليل.

4-مثل مخطط الحصيلة الطاقوية لهذا التفاعل. المعطيات: $E_\ell(^A_ZX) = 28{,}41MeV$ ، $E_\ell(^3_1H) = 8{,}57MeV$ ، $E_\ell(^2_1H) = 2{,}23MeV$.



المراجع باللغة العربية

[1] د. مكي الحسني، مدخل الى الفيزياء النووية، مطبعة ابن حيان – دمشق- 1983.

[2] د. مناف عبد الحسن، الفيزياء النووية، دار صفاء للنشر و التوزيع – عمان، الطبعة الاولى 1996.

[3]د. محمد حبيب بركات، د. مصطفى عبد السلام نصر، اسس الفيزياء النووية، دار الفكر للطباعة والنشر و التوزيع – عمان، 2000.

[4]أ. د محمد فاروق احمد، أ. د احمد بن محمد السريع، مبادئ الاشعاعات المؤينة و الوقاية منها، جامعة الملك سعود – المملكة العربية السعودية،1991.

[5] د. احمد الناغي، د. محمد نبيل يس البكرى، الفيزياء النووية، دار الفكر العربي– القاهرة، 2008.

[6]أ. ن كليموف، ترجمة الدكتور مجدي مصطفى امام، الفيزياء النووية و المفاعلات النووية، دار مير (Mir Publishers)، موسكو - الاتحاد السوفيتي 1980.

المراجع باللغة الاجنبية

[7] B. R. Martin, Nuclear and Particle Physics, John Wiley & Sons, Ltd, 2006.

[8] W.S.C. Williams,Nuclear and Particle Physics; Clarendon Press, Oxford, 1991.

[9] K.S. Krane, Introductory Nuclear Physics; Wiley, New York, 1987.

[10]W. Demtröder, Nuclear and Particle Physics, Springer Nature Switzer l and AG 2022.

[11] V.K. Mittal, R.C. Verma and S.C. Gupta, INTRODUCTION TO NUCLEAR AND PARTICLE PHYSICS, Third Edition , by PHI Learning Private Limited, 2013.

[12] D. Griffiths, "Introduction to Elementary Particle Physics", 2nd Edition, Wiley, 2008.

[13] H. D. Young and R. A. Freedman, University Physics, Vol. III, 13th Edition, Addison Wesley, 2012.

[14] W.N.COTTINGHAM, D.A. GREENWOOD, An Introduction to Nuclear Physics, Cambridge University Press 1986, 2004.

[15] I. Tanihata, Hiroshi Toki, Toshitaka Kajino, Handbook of Nuclear Physics, , Copyright InformationSpringer Nature Singapore Pte Ltd. 2023.

[16] A. Kamal, Nuclear Physics, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014.

[17] B.Dey, S. Bhattacharya, Experimental Details for a Typical Nuclear Physics Experiment. In: Deshmukh, N., Joshi, N. (eds) Understanding Nuclear Physics. Springer, Singapore. 2023.

[18] F. Mayet, Physique Nucléaire Appliquée, Paris, Edition De Boeck, 2015.

[19] C. Le Sech, C. Ngô, Physique Nucléaire, Paris, Edition Dunod, 2014.