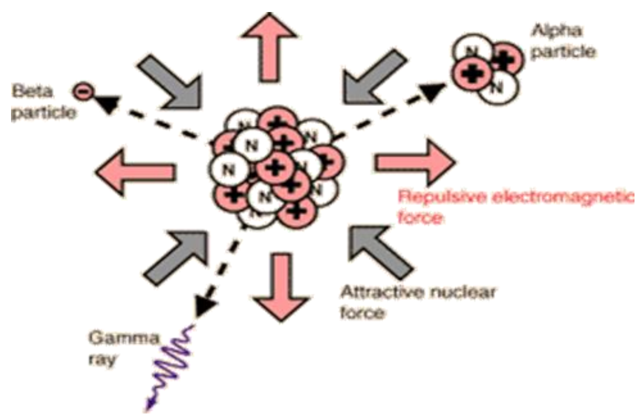
جـامعـة الشهيد حمه لخضر الوادي
كلية العلوم الدقيقة
مجال علـوم المـادة
- قسم الفيزياء -

تمارين ومسائل محلولة في الفيزياء النووية

(مع ملخص شامل للدروس)

موجهة لطلبة السنة الثالثة فيزياء



من اعداد: الدكتور عطية محمد الهادي

أستاذ محاضر -أ-

2021

مقدمة المؤلف

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

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

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

تحتوي هذه المطبوعة على تمارين ومسائل محلولة مع ملخصات شاملة للدروس تعتمد على تفصيل الحسابات عند الضرورة وعلى الاختصار غير المخل أحيانا أخرى، التي أجدها مهمة في تقوية فهم الطالب لمحتويات هذه المادة.

وتتضمن هذه المطبوعة تمارين ومسائل محلولة مع ملخصات شاملة للدروس لسبعة فصول سنذكرها بالترتيب وباختصار كما يلي:

- الفصل الاول : الخواص الفيزيائية للنواة.
- الفصل الثاني: العزوم النووية.
- الفصل الثالث : طاقة الارتباط (الترابط) النووي
- الفصل الرابع : النشاط الاشعاعي و الأنواع الثلاثة للإشعاعات و هي الفا (α) ، بيتا (β) وغاما (γ).
- الفصل الخامس : النماذج النووية.
- الفصل السادس: التفاعلات النووية.
- الفصل السابع: الانشطار والاندماج النووي.

المحتويات

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

مقدمة عامة

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

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

الفيزياء النووية اصبحت في هذه الايام ضرورة للعالم المتطور، فقد اصبحت احدى الاسس الكبرى لبناء المستقبل نظرا لما توفره من امكانيات جبارة وطرق سهلة للتحكم بالطاقة، فالفيزياء النووية الان اصبحت تستعمل في كثير من حقول المعرفة كالطب و الصناعات و في الجيولوجيا و في الفضاء و الآثار و غيرها في الكثير من الاستخدامات.

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

في هذه المطبوعة سنقدم تمارين ومسائل محلولة مع ملخصات شاملة للدروس للخواص العامة للنواة وحساب عزم رباعي الاقطاب الكهربائي و عزم رباعي الاقطاب الكهربائي الكوانتي و نشر رباعي الاقطاب على الهزاز التوافقي و العزم المغناطيسي النووي وكيفية حساب طاقات الارتباط النووية وطاقات الفصل النكليوني والنشاط الاشعاعي والإشعاعات النووية. كما سنذكر النماذج النووية التي تصف وتعطي معلومات عن النواة. وسنقوم بحساب طاقات التفاعلات النووية، واعطاء فكرة عن المفاعلات النووية كتطبيق للتفاعلات الانشطارية والاندماجية بعرض الفصول الواحد تلو الاخر.

الخواص العامة للنواة

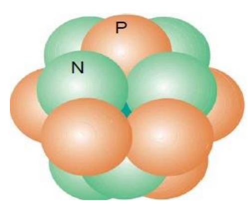
إن اكتشاف النيترون من قبل جادويك عام 1932 أعطى صورة أكثر وضوحا عن التركيب النووي مما أدى إلى ظهور فرضية هايزنبرغ سنة 1932 والتي تنص على أن النواة مكونة من البروتونات والنيترونات.

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

6.1 خصائص النواة:

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

ملاحظة: يعطى العدد الكتلي A بوحدة Uma وهي وحدة كتلة الذرة

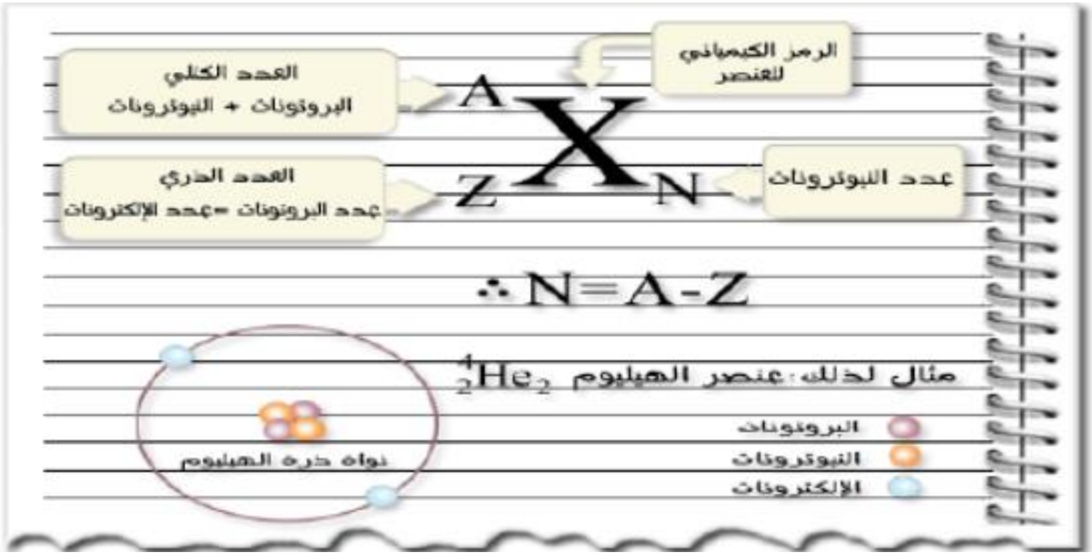


شكل (2.1): شكل توضيحي للنواة.

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

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

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



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

فمثلا: إنتقال الاكترون من مدار إلى أخر هي من رتبة 10^{-19} جول هي صغيرة جدا بحيث يصبح غير ملائم استعمال واحدات (SI)، ولذا نستبدل وحدة الجول بوحدة خاصة وهي ev

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

وحدة الكتل الذرية: بما أن كتلة الذرة صغيرة جدا فما بالك كتلة النواة، يستحسن استعمال وحدة جديدة والتي تسمى وحدة الكتل الذرية ونرمز لها ب Uma

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

الكتلة			
الجسم	Kg	Uma	Mev/c^2
بروتون	$1.67262*10^{-27}$	1.007276	938.28
نيترون	$1.67493*10^{-27}$	1.008665	939.57
الالكترون	$9.10939*10^{-31}$	$5.48579*10^{-4}$	0.510999
ذرة $^{1}_{1}H$	$1.67353*10^{-27}$	1.007825	938.783
نواة $^{4}_{2}He$	$6.64466*10^{-27}$	4.001506	3727.38
ذرة $^{12}_{6}C$	$1.99265*10^{-27}$	12.000000	11177.9

9.1 الخصائص الأساسية للنواة: بينت التجارب مثل تجربة العالم رذرفورد على أن أغلب اقطار الانوية في حدود 10^{-14}m، بينما قطر الذرة في حدود $1A^0$، كما بين طومسون أن كتلة الإلكترون في ذرة الهيدروجين هي 0.000548579Uma بينما كتلة الذرة $^{12}{}_6C$ هي 12Uma

نجد أن R نصف قطر النواة متناسب مع $A^{1/3}$ بنفس المقدار تقريبا، و r_0 يمثل ثابت التناسب يستبدل ب $r_0=1.4\ fm$ وعليه

نصف قطر النواة تكون بالعلاقة التالية: $R=r_0A^{1/3}$ وتكون بوحدة fm

ملاحظة: $1\,fm=10^{-15}m$

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

10.1 التمارين المحلولة

التمرين الاول :

أحسب نصف قطر كل من الأنوية التالية: $^{18}_{8}O$ و نواة $^{208}_{82}Pb$

حل التمرين الاول:

- تعيين نصف قطر كل من $^{18}_{8}O$ و نواة $^{208}_{82}Pb$:

$$R(^{A}_{Z}X)=r_0\times A^{1/3}$$
$$r_0=1.4\times10^{-15}m$$

-1-

$$R(^{18}_{8}O)=(1.4\times10^{-15})\left(18^{\frac{1}{3}}\right)$$
$$R(^{18}_{8}8)=3.66\times10^{-15}m=3.66\ fm$$
$$R(^{18}_{8}8)=3.66\ fm$$

-2-

$$R(^{208}_{82}Pb)=(1.4\times10^{-15})\left(208^{\frac{1}{3}}\right)$$
$$R(^{208}_{82}Pb)=8.29\times10^{-15}m=8.29\ fm$$

التمرين الثاني :

نقذف نواة اليورانيوم $\left({}^{235}_{92}U\right)$ بنترون فتنشطر النواة الناتجة الى نواتين (في عملية انشطار نووي) وثلاث نترونات حيث ان العدد الكتلي لاحدى النواتين ضعف العدد الكتلي للنواة الاخرى.

- أحسب نصف قطر النواة الام.
- أحسب نصف قطر الانوية الناتجة .

<u>حل التمرين الثاني:</u>

-1- تعيين نصف قطر النواة الام :

$$R({}^{A}_{Z}X) = r_0 \times A^{1/3} \quad ; \quad r_0 = 1.4 \times 10^{-15}m$$

$$R({}^{235}_{92}U) = (1.4 \times 10^{-15}) \times (235)^{\frac{1}{3}}$$

$$R\left({}^{235}_{92}U\right) = 8.63 \times 10^{-15}m = 8.63\ fm$$

$$R\left({}^{235}_{92}U\right) = 8.63\ fm$$

-2- حساب نصف قطر الانوية الناتجة

$${}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{A1}_{Z1}X_1 + {}^{A2}_{Z2}X_2 + 3.\,{}^{1}_{0}n$$

و منه $1 + 235 = A_1 + A_2 + 3 \quad / \quad A_2 = 2A_1$

$$233 = A_1 + A_2 = 3A_1 \rightarrow A_1 = \frac{233}{3} \approx 78$$

و منه :

$$A_2 = 2A_1 = 2(77.6) = 155.2 \approx 155$$

$$R\left({}^{235}_{92}U\right) = 1.4(235)^{\frac{1}{3}} = 8.651\ fm$$

$$R({}^{78}_{Z1}X_1) = 1.4(78)^{\frac{1}{3}} = 5.981\ fm$$

$$R({}^{155}_{Z2}X_2) = 1.4(155)^{\frac{1}{3}} = 7.52\ fm$$

<u>التمرين الثالث :</u>

عين النواة التي لها نصف قطر يساوي ثلث نصف قطر النواة ${}^{189}_{76}Os$

<u>حل التمرين الثالث:</u>

- تعيين النواة التي لها نصف قطر يساوي ثلث نصف قطر النواة ${}^{189}_{76}Os$

$$R({}^{A}_{Z}X) = r_0 \times A^{1/3} \quad ; \quad r_0 = 1.4 \times 10^{-15}m$$

$$R({}^{189}_{76}Os) = (1{,}4\text{x}10^{-15}) \times (189)^{\frac{1}{3}} = 8.034\text{x}10^{-15}\ m = 8.034\ fm$$

$$R({}^{189}_{76}Os) = 8.034\ fm$$

$$R({}^{A}_{Z}X) = \frac{1}{3}R({}^{189}_{76}Os) \rightarrow R({}^{A}_{Z}X) = 8.034\left(\frac{1}{3}\right) = 2.678\ fm$$

$$R({}^{A}_{Z}X) = r_0A^{1/3} = 2.678\ fm \rightarrow A = \left(\frac{R({}^{A}_{Z}X)}{r_0}\right)^3 = \left(\frac{2.678}{1.4}\right)^3 = 6.99$$

$$A = 6.99 \approx 7$$

النواة هي ${}^{7}_{3}X$ اذن هي نواة الليثيوم ${}^{7}_{3}Li$

التمرين الرابع :

عين النكليد المستقر الذي له نصف قطر R يساوي نصف نصف القطر النووي لليورانيوم ${}^{238}_{92}U$:

حل التمرين الرابع :

- تعيين نصف قطر النواة ${}^{238}_{92}U$:

$$R({}^{A}_{Z}X) = r_0 \times A^{1/3} \quad ; \quad r_0 = 1.4 \times 10^{-15}m$$

$$R({}^{238}_{92}U) = (1.4 \times 10^{-15}) \times (238)^{\frac{1}{3}} \rightarrow R({}^{238}_{92}U) = 8.67 \times 10^{-15}m = 8.67\ fm$$

$$R({}^{238}_{92}U) = 8.67 \times 10^{-15}m = 8.67\ fm$$

- تعيين النكليد المستقر :

$$R({}^{A}_{Z}X) = \frac{1}{2}R({}^{238}_{92}U) = \frac{1}{2}(8.67) \rightarrow R({}^{A}_{Z}X) = 4.33\ fm$$

$$R({}^{A}_{Z}X) = r_0A^{1/3} = 4.33\ fm \rightarrow A = \left(\frac{R({}^{A}_{Z}X)}{r_0}\right)^3 = \left(\frac{4.33}{1.4}\right)^3 = 29.74$$

$$A = 29.74 \approx 30$$

و منه النواة هي ${}^{30}_{15}X$ و هي نواة الكبريت ${}^{30}_{15}S$

التمرين الخامس :

عين نصف القطر النووي لكل من الانوية التالية ${}^{4}_{2}He$ ${}^{64}_{29}Cu$ ${}^{125}_{53}I$ ${}^{216}_{64}Po$

ارسم منحنى نصف القطر بدلالة عدد النكليونات A علق على هذا المنحنى.

حل التمرين الخامس:

- تعيين نصف القطر النووي للانوية التالية :

$$R({}^{A}_{Z}X) = r_0 \times A^{1/3} \quad ; \quad r_0 = 1.4 \times 10^{-15}m$$

$$R({}^{4}_{2}He) = 1.4 \times (4)^{\frac{1}{3}} = 2.22\ fm \quad ; \quad ({}^{4}_{2}He) = 2.22\ fm$$

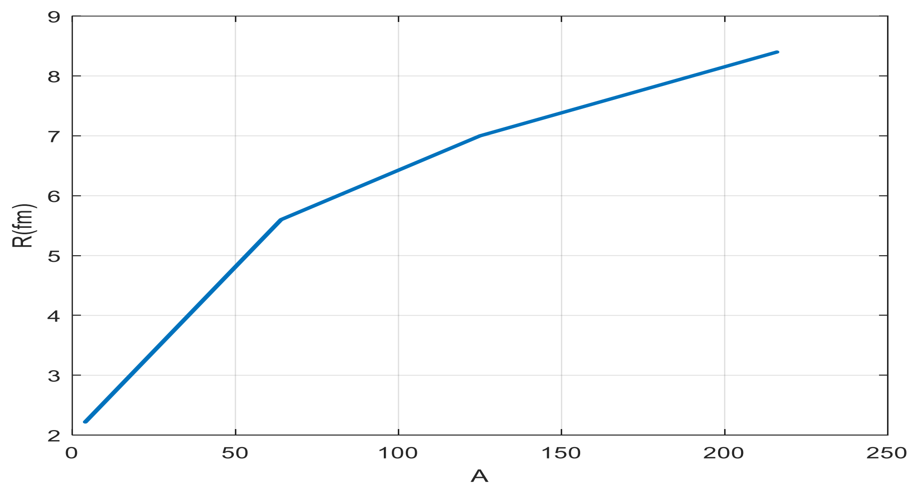
$$R({}^{64}_{29}Cu) = 1.4 \times (64)^{\frac{1}{3}} = 5.6\ fm \quad ; \quad R({}^{64}_{29}Cu) = 5.6\ fm$$

$R(^{125}_{53}I) = 1.4 \times (125)^{\frac{1}{3}} = 7\ fm$; $R(^{125}_{53}I) = 7\ fm$

$R(^{216}_{84}Po) = 1.4 \times (216)^{\frac{1}{3}} = 8.4\ fm$; $R(^{216}_{84}Po) = 8.4\ fm$

- رسم منحنى نصف القطر بدلالة النكليونات A:

الانوية	$^{4}_{2}He$	$^{64}_{29}Cu$	$^{125}_{53}I$	$^{126}_{84}Po$
A	4	64	125	216
R (fm)	2.22	5.6	7	8.4



منحنى نصف القطر بدلالة النكليونات A

من منحنى نصف القطر بدلالة عدد النكليونات A نلاحظ انه كلما زاد العدد الكتلي زاد نصف القطر النووي أي وجود علاقة طردية بين العدد الكتلي و نصف القطر النووي.

التمرين السادس :

ماهي طاقة التنافر الكولومي بين بروتوني $^{3}_{2}He$ اذا افترضنا ان المسافة بينهما هي نصف قطر نووي (الجواب ب Mev).

حل التمرين السادس:

- طاقة التنافر الكولومي $^{3}_{2}He$:

$$R(^{3}_{2}He) = 1.4 \times (3)^{\frac{1}{3}} = 2.01\ fm$$

$$Ep(^{3}_{2}He) = \frac{kq_pq_p}{R} = \frac{ke.e}{R} = \frac{(9\times10^{9})(1.6\times10^{-19})^2}{2.01\times10^{-15}}$$

$$Ep({}_{2}^{3}He) = 1.4 \times 10^{-13} Joule$$

$$\rightarrow \ Ep({}_{2}^{3}He) = (1.4 \times 10^{-13})(1.5 \times 10^{-19})$$

$$\rightarrow \ Ep({}_{2}^{3}He) = 0.71 \ Mev$$

التمرين السابع:

باقتراض ان النواة على شكل كرة نصف قطرها (R) وشحنتها (+Ze) موزعة بانتظام على حجمها

احسب الطاقة المخزنة الكهربائية Bc بدلالة A, Z, a_c

لدينا

$$dBc = dq\big(V(\infty) - V(r)\big) \qquad , \qquad a_c = \frac{-3e^2}{4\pi\varepsilon_0 5 r_0}$$

حل التمرين السابع:

$$V = \frac{4\pi}{3}R^3 \ ; \ Q = Z \times e \,; R({}_{Z}^{A}X) = r_0 \times A^{1/3}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \quad / \quad V(r) = k\frac{q}{r}$$

- *حساب الطاقة المخزنة* Bc:

$$dBc = dq\big(V(\infty) - V(r)\big) \rightarrow dB = -dq \times V(r)$$

$$q = \rho V = \ \rho \frac{4\pi}{3} r^3 \qquad \rightarrow \qquad dq = \rho \times 4\pi \times r^2 \, dr$$

$$V(r) = k\rho\frac{4\pi}{3r}r^3 = k\rho\frac{4\pi}{3} \ r^2$$

$$\rightarrow dB = -dq \times V(r) \rightarrow B = \int_0^R \rho \times 4\pi \times r^2 \, dr(-k\rho\frac{4\pi}{3} \ r^2)$$

$$\rightarrow \ B = -\rho^2\frac{(4\pi)^2}{3}k\int_0^R r^4 dr$$

$$\rightarrow B_c = -\frac{\rho^2(4\pi)^2}{3}k\left[\frac{r^5}{5}\right] = -\frac{3}{3}\rho^2\frac{(4\pi)^2 k}{3 \times 5}\frac{R^5 R}{R} = \frac{-3kZ^2e^2}{5R} = \frac{-3Z^2e^2}{4\pi\varepsilon_0 5 r_0 A^{\frac{1}{3}}}$$

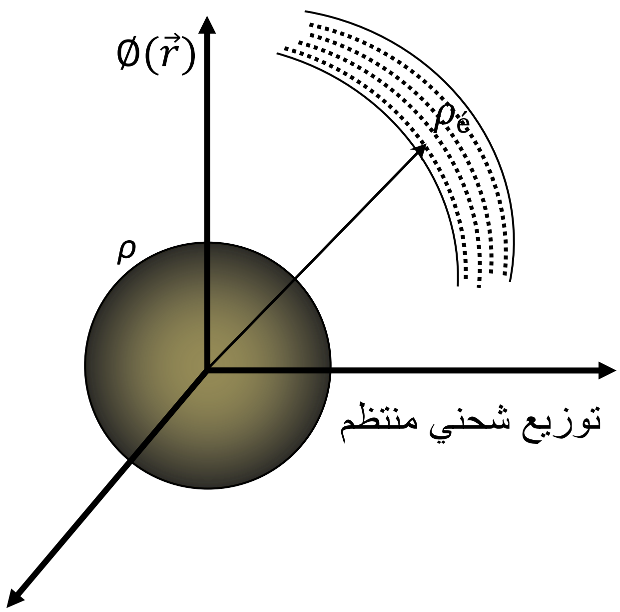
و منه

$$B_c = \ -\frac{a_c Z^2}{A^{\frac{1}{3}}}$$

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

1.2 متعدد الأقطاب النووي:

الالكترون الخارجي يتفاعل مع النواة كهربائيا نفرض أن للنواة محور تناظر و ايضا ان للنواة توزيع شحني كثافته ρ ونفرض كذلك أن الالكترونات الخارجية كثافتها هي ρ_e



بالقرب من النواة $\rho_e(0)=0$

نريد حساب الطاقة المكتسبة للنواة من جراء تفاعلها مع الكمون الخارجي

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

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

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

$$f(x.y)=f(0.0)+x\frac{\partial f(0)}{\partial x}+y\frac{\partial f(0)}{\partial y}+\frac{x^2}{2}.\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{xy}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial x\partial y}+\frac{y^2}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial y^2}+\frac{yx}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial x\partial y}$$

$$f\left(x,y;z\right)=f\left(0,0,0\right)+x\frac{\partial f(0)}{\partial x}+y\frac{\partial f(0)}{\partial y}+z\frac{\partial f(0)}{\partial z}+\frac{x^2}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}+\frac{xy}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial x\partial y}+\frac{xz}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial x\partial y}$$
$$+\frac{y^2}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial y^2}+\frac{yx}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial x\partial z}+\frac{z^3}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial y\partial z}+\frac{y^2}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial z^2}+\frac{zx}{2}\frac{\partial^2}{\partial z\partial x}+\frac{zy}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial z\partial y}$$

$$E=\int\rho\left(r\right)\left[\varphi\left(0.0.0\right)+x\frac{\partial\varphi\left(0\right)}{\partial x}+y\frac{\partial\varphi\left(0\right)}{\partial y}+z\frac{\partial\varphi\left(0\right)}{\partial z}+\ldots\ldots\ldots+\right]dv$$
$$=\varphi(0)\int\rho\left(r\right)d^3r+\int\rho\left(r\right)\left(r.\nabla\varphi d^3r\right)+\int\frac{\rho\left(r\right)}{2}.\left(x^2\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2}+y^2\frac{\partial^{2\varphi}}{\partial z^2}+z^2\frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2}\right)d^3r+$$
$$\int\rho\left(r\right)(xy\frac{\partial^2\varphi}{\partial y\partial x}+xz\frac{\partial^2\varphi}{\partial x\partial z}+yz\frac{\partial^2\varphi}{\partial y\partial z})d^3r$$

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

$$E=Ze\varphi\left(0.0.0\right)-\int\rho\left(r\right)r.E\left(0.0.0\right)d^3r+w$$
$$w=1/2\int\rho(r)\left[\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2}(0.0.0)\left(x^2+y^2\right)+z^2\frac{\partial^2\varphi(0.0.0)}{\partial z^2}\right]d^3r$$
$$E=Ze\varphi\left(0.0.0\right)-E\int\rho\left(r\right)rdr+w$$
$$w=1/2\int\rho\left(r\right)\left(x^2\frac{\partial^2\varphi\left(0\right)}{\partial x^2}+y^2\frac{\partial^2\varphi\left(0\right)}{\partial y^2}\right)d^3r1/2\int\rho(r)z^2\frac{\partial^2\varphi(0)}{\partial y^2}d^3r$$
$$\Delta\varphi=-\frac{\rho_e}{\varepsilon_0},\quad\Delta\varphi\left(0\right)=-\frac{\rho_e(0)}{\varepsilon_0}=0,\qquad\Delta\varphi\left(0\right)=0$$
$$2\frac{\partial^2\varphi(0)}{\partial x^2}=-\frac{\partial^2\varphi(0)}{\partial z^2}$$
$$w=-1/4\int\rho\left(r\right)\frac{\partial^2\varphi\left(0\right)}{\partial z^2}\left(x^2+y^2\right)d^3r+\frac{1}{2}\int\rho(r)\frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2}d^3r$$
$$=\frac{1}{4}\int\rho\left(r\right)(2z^2-\left(x^2+y^2\right)d^3r.\frac{\partial^2\varphi\left(0\right)}{\partial z^2}=\frac{1}{4}\int\rho\left(r\right)(3z^2-r^2)d^3r\frac{\partial^2\varphi(0)}{\partial z^2}$$
$$\varphi_{zz}=\frac{1}{e}\int\rho\left(r\right)(3z^2-r^2)d^3r$$
$$w=\frac{e}{4}\varphi_{zz}\frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2}(0.0.0)$$

<u>ملاحظة</u>: يعرف ثنائي القطب بـ

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

ولدينا في الأخير:

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

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

2.2 تفاعل رباعي الأقطاب:

لتكن نواة إهليليجية الشكل محاورها $(a.b)$

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

ولدينا ثابت: $\rho_0 = \rho$

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

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

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

نستعمل الإحداثيات الأسطوانية:

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

ومن معادلة الاهليليج – قطع ناقص-

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

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

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

$$= \frac{3}{2}\frac{Z}{a^2b}\int_{-b}^{b} dz \int_{0}^{a\sqrt{1-\frac{z^2}{b^2}}} \rho\left(2z^2 - \rho^2\right)d\rho$$

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

طاقة تفاعل رباعي الأقطاب:

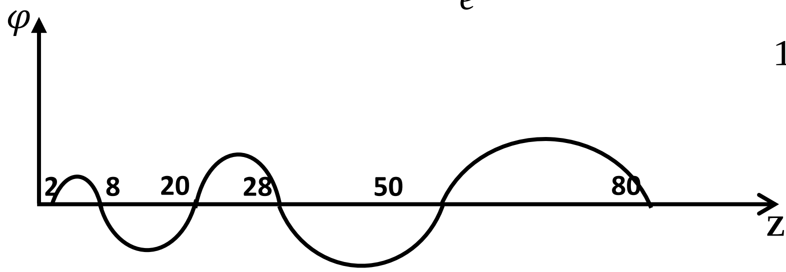
$$w=\frac{e}{4}\varphi_{zz}\frac{\partial^2 u(0.0.0)}{\partial z^2}$$

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

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

تفاعل رباعي الاقطاب يحسب ايضا تجريبيا ومن خلاله نعرف شكل النواة

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



وحدة φ_{zz} هي $1bar=10^{-16}m$

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

3.2 الصيغة الكمومية لرباعي الأقطاب φ_{zz}:

نعرف الصيغة الكمومية لرباعي الأقطاب φ_{zz} بإستعمال مبدأ التكميم

$$\varphi_{zz}=\frac{e}{4}\iiint\psi^*\left(\vec{r}\right)\left(3z^2-r^2\right)\psi\left(\vec{r}\right)d^3\vec{r}=\iiint\psi^*\left(\vec{r}\right)\left(3z^2-R^2\right)\psi\left(\vec{r}\right)d^3\vec{r}$$
$$=<3z^2-R^2>$$

وليكن $\vec{J}$ العزم النووي الكامل:

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

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

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

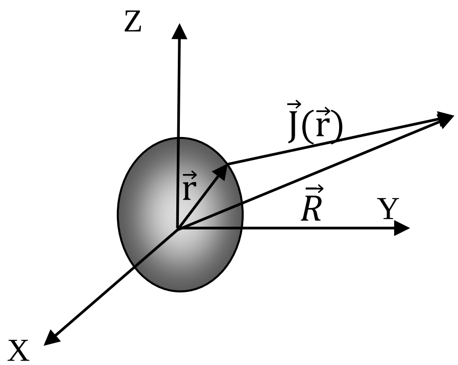
$$<R^2>=\frac{3m^2-J(J+1)}{\hbar^2J(J+1)}$$

<u>ملاحظة:</u> العزم الرباعي الذاتي $<R^2>=<r^2>$

4.2 العزم المغناطيسي للنواة:

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

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



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

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

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

$$\frac{1}{\vec{R}-\vec{r}}=f\left(\vec{r}\right)=f(x.y.z)$$

نشر في جوار الصفر

$$f\left(0.0.0\right)=f\left(0.0.0\right)+x\frac{\partial f}{\partial x}\left(0.0.0\right)+y\frac{\partial f}{\partial y}\left(0.0.0\right)+z\frac{\partial f}{\partial z}(0.0.0)$$

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

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

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

$$\frac{1}{\left\|\vec{R}-\vec{r}\right\|}\approx\frac{1}{R}+\frac{\vec{r}.\vec{R}}{R^3}$$

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

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

$$\left(\vec{a}\wedge\vec{b}\right)\wedge\vec{c}=(\vec{b}.\vec{a}).\vec{c}-(\vec{c}.\vec{a})\vec{b}$$

$$\left(\vec{r}\wedge\vec{J}\right)\wedge\vec{R}=\left(\vec{J}.\vec{r}\right).\vec{R}-\left(\vec{R}.\vec{r}\right).\vec{J}$$

$$\vec{A}\left(\vec{R}\right)=\frac{u_0}{4\pi}\iiint\left(\vec{J}.\vec{\mathrm{r}}\right).\vec{R}+\left(\vec{R}.\vec{\mathrm{r}}\right).\vec{J}d^3\vec{\mathrm{r}}$$
$$\approx\frac{u_0}{4\pi}\iiint\left(\vec{\mathrm{r}}\wedge\vec{J}\left(\vec{\mathrm{r}}\right)d^3\vec{\mathrm{r}}\right)\wedge\vec{R}$$

العزم المغناطيسي الكامل لنواة هو:

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

التفاعل المغناطيسي للنواة:

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

5.2 التمارين المقترحة:

<u>التمرين الأول</u>: عزم رباعي الأقطاب الكهربائي

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

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

أ. نواة كروية الشكل نصف قطرها R

ب. نواة اهليليجية الشكل محاورها (a,b)

ج. أدرس اشارة Q حسب قيم a,b

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

أ. ليكن Ve الكمون الناتج عن الالكترونات - أكتب معامل بواسون بين $\mathrm{V},\ \rho_e$

ب. أعطي عبارة الطاقة الكامنة We للنواة لهذا التفاعل.

ج. ننشر V بجوار (0) ونهمل الحدود من الدرجة الثالثة، أحسب التفاعل رباعي الأقطاب الكهربائي للنواة الاهليليجية علما أن $\frac{\partial^2\mathrm{V_e}}{\partial\mathrm{x}^2}=\frac{\partial^2\mathrm{V_e}}{\partial\mathrm{y}^2}$

<u>حل التمرين الأول:</u>

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

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

أ. نواة كروية الشكل نصف قطرها R.

$$Q_{ij} = \frac{1}{e} \iiint \rho(\vec{r})(3x_i x_j - \delta_{ij}\, r^2) d^3\vec{r}$$

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

في الاحداثيات الكروية

$$Q_{zz} = \frac{\rho_0}{e} \iiint (3\cos\theta^2 - 1) r^4 dr\, sin\theta d\theta d\varphi$$

$$Q_{zz} = \frac{\rho_0}{e} \int_0^R r^4\, dr \int_0^{\Pi} (3cos\theta^2 - 1)\, sin\theta d\theta \int_0^{2\Pi} d\varphi$$

$$Q_{zz} = \frac{\rho_0}{e} \frac{R^5}{5}\; 2\Pi \int_1^{-1} (3x^2 - 1)\, dx$$

$$Q_{zz} = \frac{\rho_0}{e} \frac{R^5}{5}\; 2\Pi \int_1^{-1} (3x^2 - 1)\, dx$$

$$Q_{zz} = \frac{\rho_0}{e} \frac{R^5}{5}\; 2\Pi \left| x^3{}_{+1}^{-1} \right| - |x_{+1}^{-1}|$$

$$Q_{zz} = 0$$

نواة كروية $Q_{zz} = 0$

ب- نواة اهليليجية الشكل محاورها (a,b)

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

ولدينا ثابت: $\rho_0 = \rho$

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

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

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

نستعمل الإحداثيات الأسطوانية:

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

ومن معادلة الاهليليج – قطع ناقص-

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

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

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

$$= \frac{3}{2}\frac{Z}{a^2 b}\int_{-b}^{b} dz \int_{0}^{a\sqrt{1-\frac{z^2}{b^2}}} \rho\left(2z^2-\rho^2\right)d\rho$$

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

ج- أدرس اشارة Q حسب قيم a,b

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

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

2- النواة متأثرة بالتوزيع الشحني للإلكترونات المحيطة

أ. ليكن Ve الكمون الناتج عن الالكترونات - أكتب معامل بواسون بين V, ρ_e

$$\Delta V_e(\vec{r}) = \frac{-1}{\xi_0}\rho_e(\vec{r})$$

ب. أعطي عبارة الطاقة الكامنة We للنواة لهذا التفاعل.

$$W_e = \iiint \rho_e(\vec{r})Ve(\vec{r})\, d^3(\vec{r})$$

ج. ننشر V بجوار (0) ونهمل الحدود من الدرجة الثالثة، أحسب التفاعل رباعي الأقطاب الكهربائي للنواة الاهليليجية علما أن

نريد حساب الطاقة المكتسبة للنواة من جراء تفاعلها مع الكمون الخارجي

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

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

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

$$f(x.y) = f(0.0) + x\frac{\partial f(0)}{\partial x} + y\frac{\partial f(0)}{\partial y} + \frac{x^2}{2}.\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{xy}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial x\partial y} + \frac{y^2}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{yx}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial x\partial y}$$

$$f\left(x,y;z\right)=f\left(0,0,0\right)+x\frac{\partial f(0)}{\partial x}+y\frac{\partial f(0)}{\partial y}+z\frac{\partial f(0)}{\partial z}+\frac{x^2}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}+\frac{xy}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial x\partial y}+\frac{xz}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial x\partial y}$$

$$+\frac{y^2}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial y^2}+\frac{yx}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial x\partial z}+\frac{z^3}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial y\partial z}+\frac{y^2}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial z^2}+\frac{zx}{2}\frac{\partial^2}{\partial z\partial x}+\frac{zy}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial z\partial y}$$

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

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

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

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

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

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

$$E=Ze\varphi\left(0.0.0\right)-E\int\rho\left(r\right)rdr+w$$

$$w=1/2\int\rho\left(r\right)\left(x^2\frac{\partial^2\varphi\left(0\right)}{\partial x^2}+y^2\frac{\partial^2\varphi\left(0\right)}{\partial y^2}\right)d^3r1/2\int\rho(r)z^2\frac{\partial^2\varphi(0)}{\partial y^2}d^3r$$

$$\Delta\varphi=-\frac{\rho_e}{\varepsilon_0},\quad\Delta\varphi\left(0\right)=-\frac{\rho_e(0)}{\varepsilon_0}=0,\qquad\Delta\varphi\left(0\right)=0$$

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

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

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

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

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

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

ليكن Qij عزم رباعي الأقطاب الكهربائي الكلاسيكي (الكارتيزي) نعرف المؤثر

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

1- ما هي العلاقة بين $\langle\widehat{Q_{ij}}\rangle$ و Q_{ij}

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

(العزم الذاتي) Q_{int}

حل التمرين الثاني:

1- ما هي العلاقة بين و $\langle\widehat{Q_{ij}}\rangle$ و Q_{ij}

$$\langle A\rangle = \iiint \Psi^* A \Psi d^3\vec{r}$$

$$\widehat{Q_{ij}} = (3\widehat{X_i}\widehat{X_j} - \delta_{ij}r^2)$$

$$Q_{ij} = \frac{1}{e}\iiint \rho(\vec{r})(3x_ix_j - \delta_{ij}\, r^2)d^3\vec{r}$$

$$\frac{\rho(\vec{r})}{e} = |\Psi(\vec{r})|^2 = |\Psi^*(\vec{r})||\Psi(\vec{r})|$$

$$Q_{ij} = \iiint |\Psi^*(\vec{r})||\Psi(\vec{r})|(3x_ix_j - \delta_{ij}\, r^2)d^3\vec{r}$$

$$\widehat{X_i}\Psi(\vec{r}) = x_i\Psi(\vec{r})\,; \quad \widehat{X_j}\Psi(\vec{r}) = x_j\Psi(\vec{r})$$

$$\widehat{Q_{ij}} = \iiint \Psi^*(3\widehat{X_i}\widehat{X_j} - \delta_{ij}r^2)\Psi\, d^3\vec{r}$$

$$\widehat{Q_{ij}} = \langle 3\widehat{X_i}\widehat{X_j} - \delta_{ij}r^2\rangle$$

$$Q_{ij} = \langle\widehat{Q_{ij}}\rangle$$

2- حساب $\widehat{Q_{zz}}$

$$\widehat{Q_{zz}} = \langle 3\hat{Z}^2 - 1r^2\rangle$$

$$z = rcos\theta\ ,\ \hat{Z} = \hat{r}cos\theta$$

$$\widehat{Q_{zz}} = (3cos\theta^2 - 1)\hat{r}^2$$

$$cos\theta = \frac{j}{\sqrt{j(j+1)}}$$

$$\widehat{Q_{zz}} = (3(\frac{j}{\sqrt{j(j+1)}})^2 - 1)\hat{r}^2$$

$$\widehat{Q_{zz}} = (\frac{2j-1}{j+1})\hat{r}^2$$

$$\langle\widehat{Q_{zz}}\rangle = (\frac{2j-1}{j+1})\langle\hat{r}^2\rangle$$

$$\langle\widehat{Q_{zz}}\rangle = e(\frac{2j-1}{j+1})Q_{ij}$$

<u>التمرين الثالث</u>: ننشر عزم رباعي الأقطاب على الهزاز

الكمون الناشئ من النواة والمؤثر على الالكترونات المحيطة $V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\iiint \frac{\rho(\vec{r'})d^3\vec{r'}}{|\vec{r}-\vec{r'}|}$

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

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

-1 أثبت أن $Q_l^m = \int \rho(r) r^l y_l^m(\theta,\varphi) d^3\vec{r}$

هو متعدد الأقطاب الكهربائي الجديد

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

<u>حل التمرين الثالث:</u>

-1 اثبات أن $Q_l^m = \int \rho(r) r^l y_l^m(\theta,\varphi) d^3\vec{r}$

الكمون الناشئ من النواة والمؤثر على الالكترونات المحيطة $V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\iiint \frac{\rho(\vec{r'})d^3\vec{r'}}{|\vec{r}-\vec{r'}|}$

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

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

$$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\iiint \rho\left(\vec{\grave{r}}\right) d^3\vec{\grave{r}} \sum_{l,m} \frac{\grave{r}^l}{r^{l+1}} \frac{4\Pi}{2l+1} Y_l^m(\grave{\theta},\grave{\varphi}).Y^{*m}_{\ l}(\theta,\varphi)$$

$$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{l,m} \frac{4\Pi}{2l+1}.Y^{*m}_{\ l}(\theta,\varphi)\frac{1}{r^{l+1}}\iiint \rho\left(\vec{\grave{r}}\right) \grave{r}^l\, Y_l^m(\grave{\theta},\grave{\varphi}) d^3\vec{\grave{r}}$$

$$Q_l^m = \iiint \rho\left(\vec{\grave{r}}\right) \grave{r}^l\, Y_l^m(\grave{\theta},\grave{\varphi}) d^3\vec{\grave{r}}$$

$$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{l,m} \frac{4\Pi}{2l+1}.\frac{1}{r^{l+1}} Q_l^m Y^{*m}_{\ l}(\theta,\varphi)$$

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

$$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{l,m} \frac{4\Pi}{2l+1}.\frac{1}{r^{l+1}} Q_l^m Y^{*m}_{\ l}(\theta,\varphi)$$

$$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\left[\frac{4\Pi}{r}Q_0^0 \ \ \frac{1}{\sqrt{4\Pi}} + \sum \frac{4\Pi}{3}\frac{1}{r^2} Q_1^m Y^{*0}_{\ 1}(\theta,\varphi) + \cdots\right]$$

$$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\left[\frac{Ze}{r} + \frac{4\Pi}{3}\frac{1}{r^2}(Q_1^{-1}Y^{*-1}_{\ 1}(\theta,\varphi) + Q_1^0 Y^{*0}_{\ 1}(\theta,\varphi) + Q_1^1 Y^{*1}_{\ 1}(\theta,\varphi) + \cdots\right]$$

$$Q_{20} = \int \rho(\vec{r}\,).r^2.Y_2^0(\theta,\varphi)d^3\vec{r}$$

$$Y_2^0(\theta,\varphi) = \sqrt{\frac{5}{16\Pi}}\ (3cos^2\theta - 1)$$

$$Q_{20} = \sqrt{\frac{5}{16\Pi}}\int \rho(\vec{r}\,).r^2.(3cos^2\theta - 1)d^3\vec{r}$$

$$Q_{20} = \sqrt{\frac{5}{16\pi}}Q_{zz}$$

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

نستعمل بعض الرموز للتعبير عن كتلة الإلكترون والنيترون والبروتون حيث:

$M({}^{A}_{Z}X)$: كتلة الذرة ${}^{A}_{Z}X$ عند السكون.

$m({}^{A}_{Z}X)$: كتلة النواة ${}^{A}_{Z}X$ عند السكون.

$m_n = m({}^{1}_{0}n)$: كتلة النيترون ${}^{A}_{Z}X$ عند السكون.

$m_p = m({}^{1}_{1}H)$: كتلة البروتون ${}^{A}_{Z}X$ عند السكون.

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

1.3 العلاقة بين الكتلة الذرية والنووية للنكليد ${}^{A}_{Z}X$:

تتشكل ذرة متعادلة ${}^{A}_{Z}X$ من نواة و Z إلكترون. طاقة الربط الذرية هي طاقة ربط الالكترونات بالنواة لانتزاع كل هذه الالكترونات يجب توفير طاقة تأين تساوي $E_B(Z_e)$

العلاقة بين الكتلة الذرية والنووية في نفس العنصر ${}^{A}_{Z}X$

$$ {}^{A}_{Z}X + Z_{è} \longrightarrow \left(\text{الذرة}\right) {}^{A}_{Z}X + E_B\,(Z_e) \qquad (1.3)$$

$$ (\text{النواة})\; m({}^{A}_{Z}X) + Zm_e \longrightarrow M({}^{A}_{Z}X) + E_B\,(Z_e)\,/c^2 \qquad (2.3)$$

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

2.3 طاقة الارتباط النووي:

إن الطاقة الكاملة (طاقة الجهد) في أي جملة من الجسيمات المقيدة هي طاقة سالبة، نستدل من ذلك بأن الطاقة الكلية للجملة المقيدة هي أقل من الطاقة الكلية للجسيمات المنفصلة عن بعضها البعض وأن هذا الفرق في الطاقة يدعى بطاقة ترابط المنظومة وفي حالة المكونات النووية فإن طاقة الترابط النووية (E_B) هي كبيرة جدًا بحيث أن الفرق في الطاقة ينتج فرقًا واضحًا في الكتلة ($M\Delta$) بين مجموع كتل النيوكليونات والكتلة الحقيقية للنواة، ولذلك من الممكن تعريف طاقة الربط النووي (E_B) بإنها كمية الطاقة المتحررة عند تركيب

النواة من خلال جمع العدد المطلوب من البروتونات (Z) والنيترونات (N) أو أنها كمية الطاقة اللازمة لتفتت هذه النواة إلى مكوناتها الأساسية من بروتونات ونيترونات.

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

لقد بين مبدا انحفاظ الطاقة وعلاقة اينشتاين لتكافؤ الكتلة–الطاقة أن طاقة الترابط (E_B) لأية نواة كتلتها $\mathrm{M}({}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X})$ هي:

$$\mathrm{Z_P} + (\mathrm{A}-\mathrm{Z})n \longrightarrow {}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X} + \mathrm{E_B}({}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X}) \qquad (3.3)$$

$$\mathrm{Z}m_{\mathrm{p}} + (\mathrm{A}-\mathrm{Z})m_n = \mathrm{m}\left({}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X}\right) + \mathrm{E_B}({}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X})/C^2 \qquad (4.3)$$

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

$$\mathrm{Z_P} + (\mathrm{A}-\mathrm{Z})\mathrm{n} \longrightarrow {}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X}(\text{النواة}) + \mathrm{E_B}\left({}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X}\right) \qquad (5.3)$$

$${}^{A}_{Z}X(\text{النواة}) + Zm_e \longrightarrow {}^{A}_{Z}X(\text{الذرة}) + \mathrm{E_B}({}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X}) \qquad (6.3)$$

$$\frac{\mathrm{E_B}\left({}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X}\right)}{C^2} = \mathrm{m}\left({}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X}\right) - \mathrm{Z}m_{\mathrm{p}} - (\mathrm{A}-\mathrm{Z})m_n \qquad (7.3)$$

$$\frac{\mathrm{E_B}\left({}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X}\right)}{\mathrm{C}^2} = \mathrm{Z}.\,\mathrm{M}({}^{1}_{1}\mathrm{H}) + (\mathrm{A}-\mathrm{Z}).\,\mathrm{m}({}^{1}_{0}\mathrm{n}) - \mathrm{M}({}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X}) \qquad (8.3)$$

$$\mathrm{E_B}\left({}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X}\right) = \nabla\mathrm{m}\left({}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X}\right) \times C^2 \qquad (9.3)$$

$$E_{Bil}({}^{A}_{Z}X) = [Z \times M({}^{1}_{1}H) + N \times m({}^{1}_{0}n) - M({}^{A}_{Z}X)]C^2$$

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

3.3 طاقة الربط النوعية (الوسطية):

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

$$\varepsilon_B = \mathrm{E_B}/\mathrm{A} \qquad (10.3)$$

4.3 معادلات طاقة فصل النيكليون:

1.4.3 طاقة فصل النيترون $\mathrm{S_n}$:

$${}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X} + S_{\mathrm{n}}\left({}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X}\right) \longrightarrow {}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{\mathrm{A}-1}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X} \qquad (11.3)$$

$$S_n\left({}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X}\right) = \left[\mathrm{M}\left({}^{\mathrm{A}-1}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X}\right) + \mathrm{m}\left({}^{1}_{0}\mathrm{n}\right) - \mathrm{M}\left({}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X}\right)\mathrm{C}^2\right] \qquad (12.3)$$

$$S_n\left({}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X}\right) = \left[\mathrm{E_B}\left({}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X}\right) - \mathrm{E_B}\left({}^{\mathrm{A}-1}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X}\right)\right] \qquad (13.3)$$

2.4.3 طاقة فصل البروتون $\mathrm{S_P}$:

$${}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X} + \mathrm{S_P}\left({}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X}\right) \longrightarrow {}^{1}_{1}\mathrm{P} + {}^{\mathrm{A}-1}_{\mathrm{Z}-1}\mathrm{X} \qquad (14.3)$$

$$\mathrm{S_P}\left({}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X}\right) = \left(\mathrm{M}\left({}^{\mathrm{A}-1}_{\mathrm{Z}-1}\mathrm{X}\right) + \mathrm{m}\left({}^{1}_{1}\mathrm{H}\right) - \mathrm{M}\left({}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X}\right)\mathrm{C}^2\right) \qquad (15.3)$$

$$\mathrm{S_p}\left({}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X}\right) = \left[\mathrm{E_B}\left({}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X}\right) - \mathrm{E_B}\left({}^{\mathrm{A}-1}_{\mathrm{Z}-1}\mathrm{X}\right)\right]$$

ملاحظة هامة:

نعطي : $M({}^{1}_{1}H)=1.007825u$; $m({}^{1}_{1}H)=1.007276u$; $m({}^{1}_{0}n)=1.008665u$; $m(e^-)=5.28579.10^{-4}u$

5.3 التمارين المفتوحة:

التمرين الأول:

أحسب طاقة الارتباط النووية للنكليد ${}^{39}_{19}K$ علما أن: $M({}^{39}_{19}K) = 38.963710\ u$

حل التمرين الأول:

- حساب طاقة الارتباط النووية للنكليد ${}^{39}_{19}K$

$$E_{Bil}({}^{A}_{Z}X) = [Z \times M({}^{1}_{1}H) + N \times m({}^{1}_{0}n) - M({}^{A}_{Z}X)]C^2$$

$$E_B({}^{39}_{19}K) = [19 \times M({}^{1}_{1}H) + N \times m({}^{1}_{0}n) - M({}^{39}_{19}K)]C^2$$

$$\rightarrow E_B({}^{39}_{19}K) = [19 \times (1.007825) + 20(1.008665) - 38.963710]C^2$$

$$\rightarrow E_B({}^{39}_{19}K) = (0.358265)C^2 \quad \rightarrow \quad E_B({}^{39}_{19}K) = 0.358265(u) \times C^2 \times \frac{931.5Mev}{C^2}$$

$$\rightarrow E_B({}^{39}_{19}K) = 333.72\ Mev$$

التمرين الثاني:

ماهو الفرق بين طاقة الارتباط النووية ل $^{3}_{2}He$ وطاقة الارتباط النووية ل $^{3}_{1}H$

ماذا تستخلص من هذه النتيجة.

$M(^{3}_{1}H)=3.0160492675u$ $M(^{3}_{2}He)=3.0160293097u$

حل التمرين الثاني:

- طاقة الارتباط النووي ل $^{3}_{2}He$

$$E_{Bil}({}^{A}_{Z}X) = [Z \times M({}^{1}_{1}H) + N \times m({}^{1}_{0}n) - M({}^{A}_{Z}X)]C^2$$

$$E_B({}^{3}_{2}He) = [2 \times M({}^{1}_{1}H) + N \times m({}^{1}_{0}n) - M({}^{3}_{2}He)]C^2$$
$$= [2(1.007825) + (1.008665) - (3.01629)]C^2$$

$$\rightarrow E_B({}^{3}_{2}He) = 7.71\ Mev$$

$$E_B({}^{3}_{1}H) = [(1.007825) + 2 \times (1.008665) - (3.01629)]C^2$$

$$\rightarrow E_B({}^{3}_{1}H) = 8.48\ Mev$$

- حساب الفرق

$$\Delta E_B = E_B({}^{3}_{1}H) - E_B({}^{3}_{2}He) = 8.48 - 7.71 = 0.77$$

$$\rightarrow \Delta E_B = 0.77\ Mev$$

- نلاحظ تغير النتيجة لوجود قوة التنافر الكهربائي

التمرين الثالث:

- ماهي طاقة الارتباط النووية للنواة $^{12}_{6}C$
- ماهي طاقة الارتباط (الفصل) للبروتون
- ماهي طاقة الارتباط (الفصل) للنيوترون

$M(^{12}_{6}C)= 12.000000u$; $M(^{11}_{5}B)=11.009305u$; $M(^{11}_{6}C)=11.011433u$

حل التمرين الثالث:

- طاقة الارتباط النووية ل $^{12}_{6}C$

$$E_B({}^{12}_{6}C) = [Z \times M({}^{1}_{1}H) + N \times m({}^{1}_{0}n) - M({}^{12}_{6}C)]C^2$$

- حالة خاصة

$$E_B({}^{12}_{6}C) = [6 \times M({}^{1}_{1}H) + 6m({}^{1}_{0}n) - M({}^{12}_{6}C)]C^2$$
$$= [6(1.007825) + 6(1.008665) - 12]C^2$$

$$\rightarrow E_B({}^{12}_{6}C) = 0.0989C^2 \rightarrow E_B({}^{12}_{6}C) = 0.0989 \times 931.5$$

$$\rightarrow E_B({}^{12}_{6}C) = 92.16\ Mev$$

- طاقة الفصل للبروتون

المعادلة $\quad {}^{A}_{Z}X + S_P({}^{A}_{Z}X) \rightarrow {}^{1}_{1}H + {}^{A-1}_{Z-1}X$

$${}^{12}_{6}C + S_P({}^{12}_{6}C) \rightarrow {}^{11}_{5}B + {}^{1}_{1}H$$

$$S_P({}^{A}_{Z}X) = [M({}^{A-1}_{Z-1}X) + M({}^{1}_{1}H) - M({}^{A}_{Z}X)]C^2$$

$$S_P({}^{A}_{Z}X) = [E_B({}^{A}_{Z}X) - E_B({}^{A-1}_{Z-1}X)]$$

- طريقة 1

$${}^{12}_{6}C + S_P({}^{12}_{6}C) \rightarrow {}^{11}_{5}B + {}^{1}_{1}H$$

$$S_P({}^{12}_{6}C) = E_B({}^{12}_{6}C) - E_B({}^{11}_{5}B)$$

- $E_B({}^{12}_{6}C) = 92.16\ Mev$
- $E_B({}^{11}_{1}B) = [5 \times M({}^{1}_{1}H) + 6m({}^{1}_{0}n) - M({}^{11}_{5}B)]C^2$

$$= [5(1.007885) + 6(1.008625) - 11.00935]C^2$$
$$E_B({}^{11}_{1}B) = 76.2\ Mev$$
$$\rightarrow S_P({}^{12}_{6}C) = E_B({}^{12}_{6}C) - E_B({}^{11}_{5}B) = 92.16 - 76.2 = 15.96 Mev$$
$$S_P({}^{12}_{6}C) = 15.96\ Mev$$

- طريقة 2

$${}^{12}_{6}C + S_P({}^{12}_{6}C) \rightarrow {}^{11}_{5}B + {}^{1}_{1}H$$

$$S_P({}^{A}_{Z}X) = [M({}^{A-1}_{Z-1}X) + M({}^{1}_{1}H) - M({}^{A}_{Z}X)]C^2 = [M({}^{11}_{5}B) + M({}^{1}_{1}H) - M({}^{12}_{6}C)]C^2$$
$$= [11.009305 + 1.007829 - 12]$$

$$\rightarrow S_P({}^{A}_{Z}X) = 15.96\ Mev$$

- طاقة الارتباط(الفصل) للنيترون

$${}^{A}_{Z}X + S_n({}^{A}_{Z}X) \rightarrow {}^{A-1}_{Z}X + {}^{1}_{0}n$$

المعادلة

$${}^{12}_{6}C + S_n({}^{12}_{6}C) \rightarrow {}^{11}_{6}C + {}^{1}_{0}n$$

$$S_n({}^{A}_{Z}X) = [M({}^{A-1}_{Z}X) + m({}^{1}_{0}n) - M({}^{A}_{Z}X)]C^2$$

$$S_n({}^{A}_{Z}X) = [E_B({}^{A}_{Z}X) - E_B({}^{A-1}_{Z}X)]$$

- طريقة 1

$${}^{12}_{6}C + S_n({}^{12}_{6}C) \rightarrow {}^{11}_{6}C + {}^{1}_{0}n$$

$$S_n({}^{12}_{6}C) = [M({}^{11}_{6}C) + m({}^{1}_{0}n) - M({}^{12}_{6}C)]C^2 = [16.011423 + 1.008665 - 12]C^2$$

$$= 0.20098 \times C^2 \times 931.5\frac{Mev}{C^2}$$

$$\rightarrow S_n({}^{12}_{6}C) = 18.72\ Mev$$

- طريقة 2

- $E_B({}^{12}_{6}C) = 92.16\ Mev$
- $E_B({}^{11}_{6}C) = [6 \times M({}^{1}_{1}H) + 5 \times m({}^{1}_{0}n) - M({}^{A}_{Z}X)]C^2 = [6(1.007823) + 5(1.008665) - 11.011433]C^2 \rightarrow E_B({}^{11}_{6}C) = 73.44\ Mev$

$$S_n({}^{12}_{6}C) = E_B({}^{12}_{6}C) - E_B({}^{11}_{6}C) = 92.16 - 73.44 = 18.72\ Mev$$

$$\rightarrow S_n({}^{12}_{6}C) = 18.72\ Mev$$

<u>التمرين الرابع:</u>

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

${}^{12}_{6}C$	$M({}^{12}_{6}C) = 12.000000u$
${}^{4}_{2}He$	$M({}^{4}_{2}He) = 4.0026030u$
${}^{40}_{20}Ca$	$M({}^{40}_{20}Ca) = 39.962589u$
${}^{202}_{80}Hg$	$M({}^{202}_{80}Hg) = 201.970642u$

<u>حل التمرين الرابع:</u>

$$E_B({}^{A}_{Z}X) = [Z \times M({}^{1}_{1}H) + Nm({}^{1}_{0}n) - M({}^{A}_{Z}X)]C^2$$

$$\varepsilon({}^{A}_{Z}X) = \frac{E_B({}^{A}_{Z}X)}{A}$$

النواة	A	$E_B({}^{A}_{Z}X)$	$\varepsilon({}^{A}_{Z}X)$
${}^{12}_{6}C$	12	92.16	7.68

${}_{2}^{4}He$	4	28.29	7.07
${}_{20}^{40}Ca$	40	342.05	8.551
${}_{80}^{202}Hg$	202	1595.18	7.89

من الجدول أعلاه نلاحظ أن طاقة الارتباط النووية تزداد بازدياد عدد النكليونات اما طاقة الارتباط المتوسطة للنكليون تتعلق بطاقة الارتباط النووية وبعدد النكليونات.

التمرين الخامس :

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

${}^{16}_{8}O$ (7.51Mev) ; ${}^{14}_{7}N$ (7.22Mev) ; ${}^{4}_{2}He$ (6.82Mev)

احسب كتلة كل من هذه النكليدات بوحدة الكتل الذرية u.

حل التمرين الخامس:

- $E_B({}_{Z}^{A}X) = [Z \times M({}_{1}^{1}H) + Nm({}_{0}^{1}n) - M({}_{Z}^{A}X)]C^2$
- $\varepsilon({}_{Z}^{A}X) = \frac{E_B({}_{Z}^{A}X)}{A}$

$$\rightarrow E_B({}_{Z}^{A}X) = \varepsilon({}_{Z}^{A}X) \times A$$

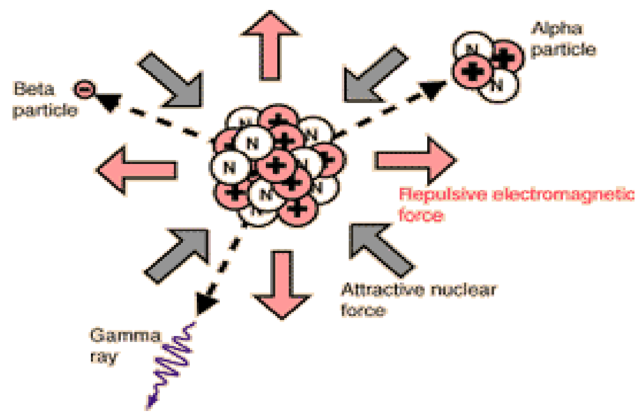
$$\varepsilon({}_{Z}^{A}X) \times A = [Z \times M({}_{1}^{1}H) + Nm({}_{0}^{1}n) - M({}_{Z}^{A}X)]C^2$$

$$M({}_{Z}^{A}X) = [Z \times M({}_{1}^{1}H) + Nm({}_{0}^{1}n) - \frac{\varepsilon({}_{Z}^{A}X) \times A}{C^2}]$$

النواة	A	$\varepsilon({}_{Z}^{A}X)$	$M({}_{Z}^{A}X)$
${}_{2}^{4}He$	4	6.82	4.0026030
${}_{7}^{14}N$	14	7.22	14.006916
${}_{8}^{16}O$	16	7.51	15.998531

النشاط الاشعاعي والإشعاعات النووية

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



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

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

1. أشعة (جسيمات β) وهي عبارة عن جسيمات موجبة او سالبة.
2. أشعة (جسيمات α) وهي عبارة عن أنوية الهليوم الموجبة.
3. أشعة (γ) وهي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية ذات طاقة أعلى (تردد أعلى) من أشعة X.

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

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

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

1.4 النشاط الاشعاعي

1.1.4 قانون الانحلال الإشعاعي:

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

إن عدد الانحلالات ΔN التي تحدث في فترة زمنية قصيرة Δt تعطى بالعلاقة التالية:

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

حيث: λ ثابت الانحلال الإشعاعي الخاص بالنظير.

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

$$dN = -\lambda N dt$$

وبالتالي يمكن حساب N كما يلي:

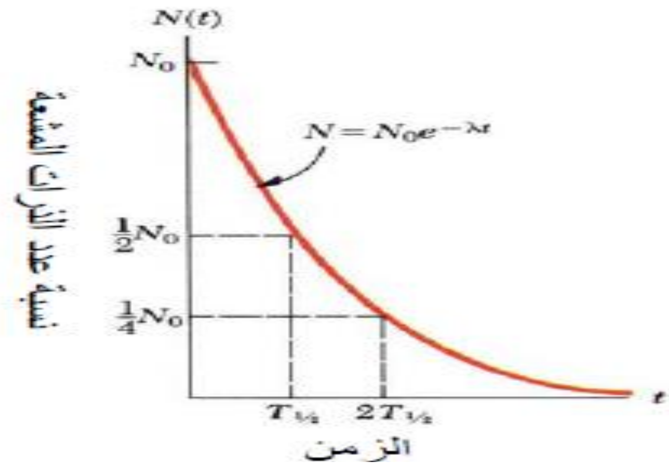
$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt \Rightarrow \int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\int_0^t \lambda dt$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \qquad (2.4)$$

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

N: عدد الأنوية المتبقية عند الزمن t.

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



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

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

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

$$m = m_0 e^{-\lambda t} \tag{3.4}$$

1.1.1.4 ثابت التفكك الاشعاعي λ:

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

2.1.1.4 زمن نصف العمر $t_{1/2}$:

الزمن اللازم لتفكك نصف عدد النوى الابتدائي

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

$$t = t_{1/2}$$

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

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \tag{4.4}$$

3.1.1.4 متوسط العمر τ :

إن متوسط العمر لعينة مشعة و هو متوسط الزمن الذي تستغرقه نواة العنصر المشع قبل أن تتفكك أو تضمحل كليا، ويحدد كالأتي:

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

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

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

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

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

عند $t = 0$:

$$\left(\frac{dN}{dt}\right)_0 = -\lambda N_0$$

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

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

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

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

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

1.2.1.4 وحدات قياس الشدة الإشعاعية:

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

1 (Bq) =1 تفكك / الثانية.

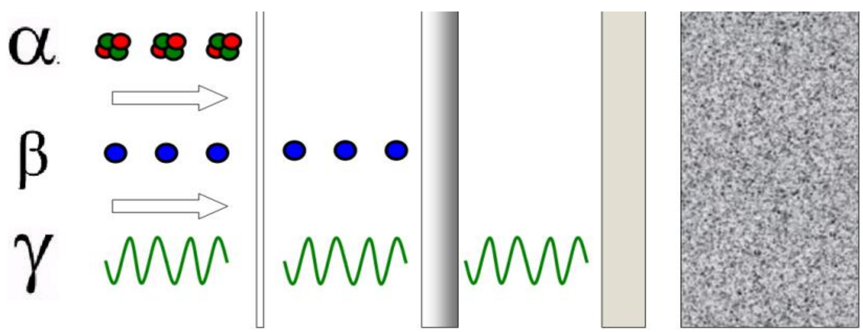
أما وحدة الكوري (Ci) فتعرف بأنها عدد التفككات النووية في الثانية الناتجة عن غرام واحد من الراديوم. وأجزاؤه وهي الميلي كوري mCi والميكروكوري µCi، عند معايرة الشدة الاشعاعية لغرام من الراديوم وجدت أنها مساوية 3.7×10^{10} تفكك في الثانية.

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

4 الاشعاعات النووية (ألفا، بيتا وغاما)

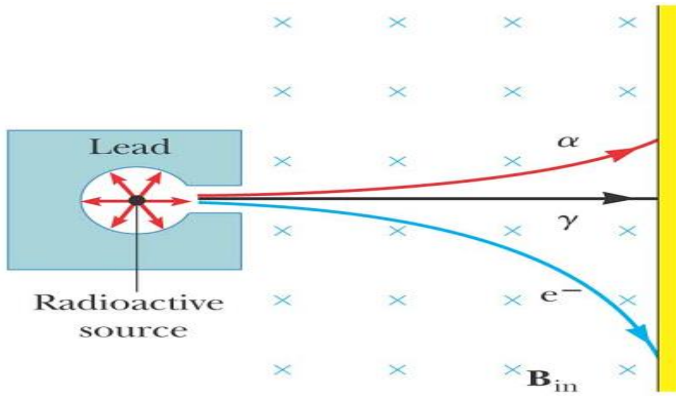
ولقد بدأ رذرفورد وآخرون دراسة طبيعة هذه الأشعة سنة 1898 فوجدوا أنه بالإمكان تصنيفها إلى ثلاث أنواع تبعا لقدرتها على اختراق المواد، فإحدى هذه الأنواع تستطيع بالكاد اختراق قصاصة ورق، أما النوع الثاني فكان يستطيع المرور خلال سمك من مادة الألمنيوم قدره 3mm. أما النوع الثالث فكانت له قدرة اختراق عالية بحيث يمكن له المرور خلال عدة سنتمترات من مادة الرصاص.

أطلق على هذه الأنواع الثلاثة أشعة ألفا، بيتا وغاما على التوالي.



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

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



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

1.2.4 تفكك ألفا (α-Decay):

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

يمثل هذا التفكك بالمعادلة التالية:

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He \qquad (10.4)$$

1.1.2.4 شرط انحلال الجسيمة ألفا:

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

2.1.2.4 طاقة جسيمات ألفا:

ولحساب الطاقة الناتجة عن التفكك نستخدم علاقة اينشتاين .

$$E_{\alpha} = [\ Mp - (\ Md + M\alpha\ )]\ C^{2} \qquad (11.4)$$

حيث:

M_p: هي كتلة النواة الأم.

M_d : هي كتلة النواة الوليدة.

M_α: هي كتلة جسيمات ألفا.

C: سرعة الضوء.

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

2.2.4 تفكك بيتا (β-Decay):

هناك إصدار آخر يعرف باسم جسيمات بيتا وهذه الجسيمات عبارة عن إلكترونات أو بوزيترونات. ولكي تكون الأنوية أكثر استقرارا يجب أن تكون النسبة بين عدد النيترونات والبروتونات (N/Z) في نواة هذا النظير، تتراوح هذه النسبة بين 1 و 1.6 تناسبا مع خفة أو ثقل هذه النوى. عند حدوث أي نوع من أنواع تفكك بيتا ينطلق من النواة جسيم يعرف باسم النيوترينو ليس له كتلة و متعادل كهربائيا.

هناك ثلاثة أنواع من تفكك بيتا وهي:

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

1.2.2.4 التفكك الإلكتروني (بيتا السالب):

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

ويحدث التفكك الإلكتروني وفق المعادلة التالية:

$$ {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{1}_{1}P + \beta^{-} + \bar{\nu} \qquad (12.4) $$

2.2.2.4 التفكك البوزيتروني (بيتا الموجب):

عكس التحول الأول فيتحول البوزيترون إلى نيترون ويصاحب هذا التحول إصدار جسيم يدعى النيوترينو ν.

ويحدث التفكك البوزيتروني وفق المعادلة التالية:

$$ {}_{1}^{1}\mathrm{P} \rightarrow {}_{0}^{1}\mathrm{n} + \beta^{+} + \nu \qquad (13.4) $$

3.2.2.4 الأسر الإلكتروني:

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

ويحدث الأسر الإلكتروني وفق المعادلة التالية:

$$ {}_{-1}^{0}\mathrm{e} + {}_{1}^{1}\mathrm{P} \rightarrow {}_{0}^{1}\mathrm{n} + \nu \qquad (14.4) $$

4.2.2.4 شرط حدوث التفكك بيتا:

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

5.2.2.4 طاقة جسيمات بيتا:

وطاقة التفكك الإلكتروني تكون ثابتة، ويمكن تحديدها بالعلاقة:

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

أما بالنسبة لطاقة التفكك البوزيتروني تكون كذلك ثابتة وتحدد بالعلاقة:

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

توزيع الطاقة بين الجسيمين الناتجين في كلا الحالتين السابقتين. وفي حالة الأسر الالكتروني تكون الطاقة الناتجة أيضا ثابتة للنظير المعين وهي:

$$ E_{E_C} = \left[M({}_{Z}^{A}X) - M({}_{Z-1}^{A}X) \right] c^{2} \qquad (17.4) $$

3.2.4 تفكك غاما (γ-Decay)

إشعاعات غاما عبارة عن فوتونات (موجات كهرومغناطيسية) كالفوتانات الضوئية.

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

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

حيث: ν هو تردد الفوتون غاما و h هو ثابت بلانك.

وتكون معادلة هذا التفكك من الشكل:

$${}_Z^AY^* \rightarrow {}_Z^AY + \gamma \qquad (19.4)$$

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

1.3.2.4 خصائص أشعة غاما:

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

2.3.2.4 طاقة جسيمات بيتا:

$$E(\gamma) = (M^*({}_Z^AX) - M({}_Z^AX))C^2$$

3.4 التمارين المقترحة

التمرين الاول:

احسب النشاط الابتدائي ل 1g من الراديوم ${}_{88}^{226}R_a$ عمره النصفي $T_{1/2} = 1622\ ans$.

حل التمرين الاول:

- حساب النشاط الابتدائي ل 1g من الراديوم:

لدينا: $A_0 = \lambda . N_0$

$$N_0 = \frac{m_0 . N_a}{M({}_{88}^{226}Ra)} \quad , \quad \lambda = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}({}_{88}^{226}Ra)}$$

$$A_0 = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}({}_{88}^{226}Ra)} \cdot \frac{m_0 . N_a}{M({}_{88}^{226}Ra)}$$

و منه:

$$A_0 = \frac{\ln 2 \times 6.023 \times 10^{23}}{1622 \times 365 \times 24 \times 360 \times 266}$$

$$A_0 = 3.6 \times 10^{10} diss/s$$

التمرين الثاني:

يسقط النشاط الاشعاعي لنكليد نشيط اشعاعيا الى عشر قيمته الابتدائية في ظرف دقيقة.

ماهو العمر النصفي لهذا النكليد.

حل التمرين الثاني

- ثابت التفكك لهذه العينة:

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

$$A = \frac{1}{10} . A_0 \quad , \qquad t = 60\ s$$

$$\frac{1}{10} . A_0 = A_0 . e^{-\lambda . t} \rightarrow \frac{1}{10} = e^{-\lambda . t}$$

$$\ln 10 = \lambda . t \rightarrow \lambda = \frac{\ln 10}{60} \rightarrow \lambda = 0.03\ s^{-1}$$

$$\lambda = 0.03\ s^{-1}$$

التمرين الثالث:

ماهو الزمن الذي يجب انقضاؤه لكي لا يتبقى من 5 ملي غرام من الصوديوم ${}^{22}_{11}N_a$ سوى 1 ملي غرام علما ان عمره النصفي $T_{1/2} = 260\ ans$.

حل التمرين الثالث:

$$\mathrm{N} = N_0 . e^{-\lambda t} , \qquad N_0 = \frac{m . N_a}{M({}^{22}_{11}Na\ )} , \qquad N = \frac{m . N_a}{M({}^{22}_{11}Na\ )}$$

$$\frac{m . N_a}{M({}^{22}_{11}Na\ )} = \frac{m_0 . N_a}{M({}^{22}_{11}Na\ )} e^{-\lambda t} \rightarrow \qquad m = m_0 . e^{-\lambda t}$$

$$\rightarrow t = -\frac{\ln\left(\frac{m}{m_0}\right)}{\lambda} = -\frac{\ln\left(\frac{1}{5}\right)}{\frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}}} = \frac{\ln 5}{\ln 2} \times T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 5}{\ln 2} \times 260$$

$$t = 603.7\ ans$$

التمرين الرابع:

اذا كان 3.10^{-9} Kg من الذهب $^{200}_{79}Au$ نشاطه الاشعاعي الابتدائي يساوي 58.9Ci

فما هو العمر النصفي لهذا النكليد.

حل التمرين الرابع:

- العمر النصفي لهذا النكليد $^{200}_{79}Au$

$$A_0 = \lambda . N_0$$

$$N_0 = \frac{m_0 . N_a}{M({}^{200}_{79}A_u)} \qquad ; \qquad \lambda = \frac{\ln(2)}{T_{\frac{1}{2}}}$$

$$A_0 = \lambda . N_0 = \frac{\ln(2)}{T_{\frac{1}{2}}} . \frac{m_0 N_a}{M({}^{200}_{79}A_u)}$$

$$\rightarrow T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln(2) . m_0 . N_a}{A_0 . M({}^{200}_{79}A_u)} = \frac{\ln(2)}{58.9 \times 3.7 \times 10^{10}} . \frac{3 \times 10^{-9} \times 10^{3} \times 6.012 \times 10^{23}}{200}$$

$$T_{\frac{1}{2}} = 2.87 \times 10^{3} s$$

التمرين الخامس:

يبلغ العمر النصفي لنكليد ما 20 يوم.

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

حل التمرين الخامس:

1- الزمن الذي يجب انقضاؤه لكي يتفكك ثلاثة ارباع العدد الموجود اصلا من النوى في عينة من هذا النكليد. عندما يتفكك ثلاثة ارباع العدد الموجود اصلا من النوى يبقى ربع الانوية من عدد انوية العينة الام.

$$T_{\frac{1}{2}} = 20\ jours$$

$$\frac{1}{4}.N_0 = N_0.e^{-\lambda t} \rightarrow \ln 4 = \lambda t \rightarrow t = \frac{\ln 4}{\ln 2}.T_{\frac{1}{2}}$$

$$t = 40\ jours$$

2-الزمن الذي يجب انقضاءه لكي يبقى ثمن الانوية الموجودة:

$$\frac{1}{8}.N_0 = N_0.e^{-\lambda t} \rightarrow \ln 8 = \lambda t \rightarrow t = \frac{\ln 8}{\ln 2}.T_{\frac{1}{2}} = 3.T_{\frac{1}{2}}$$

$$t = 80\ jours$$

التمرين السادس:

تتكون عينة من نظيرين نشيطين اشعاعيا حيث أن نشاطهما الابتدائي متساوي. العمر النصفي للاول هو ستة اشهر والعمر النصفي للثاني هو اربعة اشهر.

ماهي نسبة النشاط الاشعاعي بعد مرور عام (نسبة الاول الى الثاني).

حل التمرين السادس:

- نسبة النشاط المتبقية:

$$A_{01} = A_{02}$$

$$A_1 = A_{01}.e^{-\lambda_1.t} \quad / \quad A_2 = A_{02}.e^{-\lambda_2.t}$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{A_{01}.e^{-\lambda_1.t}}{A_{02}.e^{-\lambda_2.t}} = e^{(\lambda_2-\lambda_1).t} = e^{\ln 2\left(\frac{1}{T_1}-\frac{1}{T_2}\right).t} = e^{\ln 2\left(\frac{1}{4}-\frac{1}{6}\right)12} = e^{\ln 2.\frac{1}{12}.12}$$

$$\frac{A_1}{A_2} = 2$$

التمرين السابع:

تحتوي عينة على نظيرين نشطين اشعاعيا. العمر النصفي لأحدهما هو يوم (1j) والعمر النصفي للأخر هو ثمانية ايام (8j). يساوي نشاط الابتدائي للنكليد الاسرع تفككا 128 مرة نشاط الابتدائي للنكليد الاخر.

متى (الزمن) يحصل تساوي نشاطهما.

حل التمرين السابع:

- الزمن الذي يحصل فيه تساوي نشاطها:

$$A_1 = A_{01}.e^{-\lambda_1.t} \; ; \quad A_2(t) = A_{02}.e^{-\lambda_2.t} \quad ; A_{01} = 128.A_{02}$$

لدينا:

$$A_1 = A_2$$

$$A_{01}.e^{-\lambda_1.t} = A_{02}.e^{-\lambda_2.t}$$
$$128.A_{02}.e^{-\lambda_1.t} = A_{02}.e^{-\lambda_2.t}$$
$$\rightarrow \; e^{(\lambda_1-\lambda_2)t} = 128$$

$$\rightarrow \; t = \frac{\ln(128)}{\ln 2\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)} = \frac{\ln(128)}{\ln(2)}.\left(\frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_1}\right) = \frac{\ln(128)}{\ln(2)}.\frac{8}{7}$$

$$t = 8 \; jours$$

التمرين الثامن :

ينشط النكليد A1 النشيط اشعاعيا حسب السلسلة التالية

$$A_1 \xrightarrow{\lambda_1} A_2 \xrightarrow{\lambda_2} A_3 \quad (stable)$$

عين عدد النوى N1 , N2 , N3 في اللحظة t اذا علمت بأنه في اللحظة t=0 يوجدN_{01} .

حل التمرين الثامن:

$$A_1 \xrightarrow{\lambda_1} A_2 \xrightarrow{\lambda_2} A_3 \quad (stable)$$

$t = 0$	N_{01}	0	0
$t \neq 0$	N_1	N_2	N_3

$$N_1(t) = N_{01}.e^{-\lambda_1.t}$$

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

$$N_3(t) = \frac{N_{01}}{\lambda_2 - \lambda_1}\left(\lambda_2 . e^{-\lambda_1 . t} - \lambda_2 . e^{-\lambda_2 . t} + \lambda_2 - \lambda_1\right)$$

التمرين التاسع:

ما هي الطاقة الاعظمية للإلكترون الصادر خلال التفكك β للنواة $^3{}_1H$

$M(^3{}_1H)= 3.0160492675u$, $M(^3{}_2He)= 3.0160293097u$

حل التمرين التاسع:

- الطاقة الاعظمية:

$${}^3_1H \rightarrow {}^3_2He + {}^{0}_{-1}e + \overline{\nu_e}$$

$$Q(\beta^-) = [M({}^3_1H) - M({}^3_2He)]C^2$$

$$Q(\beta^-) = (1.99 \times 10^{-5}) \times 931.5$$

$$Q(\beta^-) = Q(e^-) = 0.018\ Mev$$

التمرين العاشر:

أثبت أن الانحلال التالي غير قابل للحدوث.

$${}^{11}_6C \rightarrow {}^{10}_5B + {}^1_1H$$

حل التمرين العاشر:

$${}^{11}_6C \rightarrow {}^{10}_5B + {}^1_1H$$

$$Q = [M({}^{11}_6C) - M({}^{10}_5B) - M({}^1_1H)]C^2$$

$$Q = -8.69\ Mev$$

- لا يحدث تفاعل

التمرين الحادي عشر:

يتحول نظير الراديوم ${}^{226}_{88}R_a$ بعد سلسلة من التفككات الى عنصر الرصاص ${}^{206}_{82}Pb$. كم هو

- عدد جسيمات α في هذا التحول.
- عدد جسيمات β في هذا التحول.

حل التمرين الحادي عشر:

$${}^{226}_{88}Ra = {}^{206}_{82}Pb + x({}^{4}_{2}He) + y\left({}^{0}_{\pm1}e\right) + y(\overline{v_e})$$

- $226 = 206 + 4x \quad \rightarrow x = 5$
- $88 = 82 + y \quad \rightarrow y = -4$

$${}^{226}_{88}Ra = {}^{206}_{82}Pb + 5({}^{4}_{2}He) + 4({}^{0}_{-1}e) + 4(\overline{v_e})$$

عدد جسيمات: $5\alpha = \alpha$

عدد جسيمات: $4\beta^- = \beta^-$

التمرين الثاني عشر:

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

$${}^{20}_{9}F \longrightarrow {}^{20}_{10}N_e^* + {}^{0}_{-1}e + \overline{v}_e$$
$$\longrightarrow {}^{20}_{10}N_e + \gamma$$

حيث ${}^{20}_{10}Ne^*$ حالة مثارة ل ${}^{20}_{10}Ne$

اذا كانت الطاقة الاعظمية للالكترونات الصادرة 5.4 ev وإذا كانت طاقة γ هي 1.6 Mev

احسب الكتلة الذرية ل ${}^{20}_{9}F$ علما ان $M({}^{20}_{10}Ne) = 19.99244u$

حل التمرين الثاني عشر:

$${}^{20}_{9}F \longrightarrow {}^{20}_{10}N_e^* + {}^{0}_{-1}e + \overline{v}_e$$

$${}^{20}_{10}N_e^* \rightarrow {}^{20}_{10}N_e + \gamma$$

$$Q(\beta^-) = [M({}^{20}_{9}F) - M({}^{20}_{10}N_e^*)]C^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

$$Q(\gamma) = [M({}^{20}_{10}N_e^*) - M({}^{20}_{10}N_e)]C^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

$$(1) + (2) \rightarrow \; Q(\beta^-) + Q(\gamma) = \; M({}^{20}_{9}F).C^2 - M({}^{20}_{10}N_e).C^2$$

$$M({}^{20}_{9}F).C^2 = Q(\beta^-) + Q(\gamma) - M({}^{20}_{10}N_e).C^2$$

$$M({}^{20}_{9}F) = \frac{Q(\beta^-) + Q(\gamma) - M({}^{20}_{10}N_e).C^2}{C^2}$$

$$M({}^{20}_{9}F) = 19.993717\ u$$

التمرين الثالث عشر:

احسب طاقة التفكك عندما تنحل النواة $^{232}_{92}U$ ، $M(^{232}_{92}U)= 232.03714u$ الى النواة $^{228}_{90}Th$
وذلك ببعث جسيمات $^{4}_{2}He$ ، $M(^{228}_{90}Th)= 228.02873u$ ، $M(^{4}_{2}He)= 4.002603u$

حل التمرين الثالث عشر:

$$^{232}_{92}U \rightarrow {}^{228}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$$

$$Q(\alpha) = [M(^{232}_{92}U) - M(^{228}_{90}Th) - M(^{4}_{2}He)]C^2$$

$$Q(\alpha) = 5.40\ Mev$$

التمرين الرابع عشر:

احسب الطاقة المتحررة عندما ينحل $^{14}_{6}C$ الى $^{14}_{7}N$ ويبعث جسيمات β^-

حيث: $^{14}_{6}C(14.003242u)$ و $^{14}_{7}N(14.003074u)$

حل التمرين الرابع عشر:

$$^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e + \overline{\nu_e}$$

$$Q(\beta^-) = [M(^{14}_{6}C) - M(^{14}_{7}N)]C^2$$

$$Q(\beta^-) = 0.15\ Mev$$

التمرين الخامس عشر:

- تبعث نواة الكوبلت $^{60}_{27}Co^*$ شعاع γ طاقته 1.33Mev . عندما يحدث انتقال الى مستوى الاستقرار.

احسب كتلة النواة المتهيجة.

حيث $M(^{60}_{27}Co)= 59.933820u$

حل التمرين الخامس عشر:

$$^{60}_{27}C_o^* \rightarrow {}^{60}_{27}Co + \gamma$$
$$Q(\gamma) = [M(^{60}_{27}C_o^*) - M(^{60}_{27}Co)]C^2$$
$$M(^{60}_{27}C_o^*) = \frac{Q(\gamma)}{C^2} + M(^{60}_{27}Co)$$

$$M(^{60}_{27}C_o^*) = 59.935247\ u$$

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

1.5 نموذج غازفيرمي

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

1.1.5المفهوم الاساسي لغازفيرمي:

يمكن تطبيق المفهوم النظري لغاز فيرمي على أنظمة التفاعل الضعيف بين الفرميونات وبمعنى آخر الجزيئات التي تخضع لإحصاء فيرمي-ديراك حسب مبدأ الاستبعاد لباولي.

حسب مبدأ الإرتياب لهزنبيرغ فإن $\Delta X . \Delta P \geq \frac{1}{2} \hbar$

إن حجم جزئية واحدة في الفضاء هو: $V = 2\pi\hbar$

وعدد النكليونات في الحجم V هو:

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

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

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

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

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

$$N = \frac{V(P_F^P)^3}{6\pi^2\hbar^3} \qquad\qquad Z = \frac{V(P_F^n)^3}{6\pi^2\hbar^3}$$

حيث: P_F^n هو كمية حركة فيرمي للنيترون

P_F^P هو كمية حركة فيرمي للبروتون

2.1.5 كمية حركة فيرمي:

لدينا $R = r_0 . A^{1/3}(fm)$ ؛ $V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi {r_0}^3 A$

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

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

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

بعد افتراض أن البروتون والنيترون في بئرين كمونيين لهما نفس نصف القطر نجد P_F بالنسبة للنوى

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

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

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

حيث: $M = 938\, Mev/c^2$ كتلة النواة.

3.1.5 كمون النكليون:

إن إختلاف B' بين قمة البئر ومستوي فيرمي ثابت وطاقة الربط المتوسط لكل نيكليون $B/A = 7 - 8Mev$

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

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

$$V_c = (Z-1)\frac{\propto \hbar C}{R} \qquad (5.5)$$

4.1.5 الطاقة الحركية:

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

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

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

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

إذن الطاقة الحركية للنواة هي:

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

حيث أخذت أنصاف البئر الكموني للنيترونات والبروتونات:

5.1.5 طاقة الربط:

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

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

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

حيث: الحد الاولى يقابل طاقة الحجم في صيغة وايزكور.

الحد الثانية طاقة اللاتناظر

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

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

6.1.5 الأعداد السحرية:

هناك بعض النوى تبدي حيودا واضحا عن معدل التصرف وتكون مستقرة بشكل غير طبيعي فالنوى التي لها Z أو N مساويا للأعداد 82,50,28,8,2 فمثلا هناك ستة نظائر مستقرة للعد الذري 20 بينما معدل عدد النظائر المستقرة في تلك المنطقة هو اثنان تقريبا أما عند العدد الذري 50 عشرة نظائر بينما عدد النظائر المستقرة هو أربعة . فضلا عن ذلك يلاحظ أن طاقة الربط النووية للنوى التي فيها عدد النيترونات أو البروتونات 2,8,28 أكبر بكثير مما في النواة المجاورة فمثلا نواة الهليوم ^4_2He تحتاج إلى طاقة عالية لإزالة النيترون الأخير ($20.6Mev$) وكذلك لإزالة البروتون الاخير ($19.8Mev$) وهما قيمتان كبيرتان قياسيا بمعدل الطاقة الرابطة المتوسطة الواحدة B/A في هذه النواة البالغة ($7.074Mev$)

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

البيليوم {Z=102}، اللورانسيوم {Z=103}، الدوبنيوم{Z=105}، الرذرفورديوم {Z=104}، السيبورجيوم {Z=106}،

2.5 نموذج القطرة السائلة:

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

لدينا في نموذج القطرة السائلة :

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

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

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

قيم معاملات العلاقة الشبه التجريبية

قيمة المعاملات	المرجع 1	المرجع 2
a_V	15.75 Mev	14.0 Mev
a_S	17.80 Mev	13.0 Mev
a_C	0.711 Mev	0.58 Mev
a_a	23.60 Mev	19.3 Mev
a_P	11.20 Mev	33.5 Mev

نعرف معاملات العلاقة الشبه التجريبية كالتالي:

1.2.5حد الحجم a_V:

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

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

$$\Rightarrow E_B = a_v A$$

2.2.5 حد السطح a_s:

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

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

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

إذن نضيف حد السطح للعلاقة السابقة.

3.2.5 حد كولوم a_c :

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

$$E_B \propto k\frac{q_1q_2}{r}$$

$$E_B \propto k\frac{Z^2e^2}{r_0A^{\frac{1}{3}}} \quad \Rightarrow (E_B)_c = a_c\frac{Z^2}{A^{\frac{1}{3}}}$$

4.2.5 حد التناظر a_a:

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

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

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

5.2.5 حد الزوجية a_p:

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

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

6.2.5 طاقة فصل بروتون:

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

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

6.2.5 طاقة فصل نيترون:

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

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

7.2.5 الأنوية الأكثر استقرار في الإيزوبارات :

الإيزوبارات هي مجموعة النظائر التي لها نفس A مثل ${}^{17}_{9}F$; ${}^{17}_{8}O$.

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

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

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

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

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

3.5 نموذج الطبقات:

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

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

ولتعيين وضع المستويات المختلفة للنواة، لابد من افتراض شكل معين لبئر كمون فإذا اعتبرنا البئر مستطيل الشكل واتساعه يساوي قطر النواة وعمقه $V(r) = -V_0$ وبحل معادلة شرودنغير فإننا نحصل عل المستويات أو الحالات الموضحة في الجدول.

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

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

ترتيب المستويات طبقا لزيادة طاقة المستوي n

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

ولكي نحصل على شكل حقيقي للكمون يجب أن تغير أركان بئر الجهود لتصبح مستديرة.
هذا الأخير يعطي مستويات مغلقة عند الأعداد 2،8،20،40،70 و112 وبمقارنتها مع الأعداد السحرية نجد أنها تنطبق عند الأعداد الثلاث الأولى فقط، ولذلك وجب تغير البئر الكموني للحصول على الأعداد السحرية.

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

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

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

$$< nljm\|V_{ls}\| = -< U(r) >_{nl} \frac{1}{2}\left[j(j+1) - 1(l+1) - \frac{3}{4} \right]\hbar^2$$

$$= \frac{1}{2}(l+1)\hbar^2 < U(r) >_{nl} \qquad for \;\; j = l - \frac{1}{2}$$

$$= -\frac{1}{2} l \hbar^2 < U(r) >_{nl} \qquad for \;\; j = l + \frac{1}{2}$$

حيث $< U(r) >_{nl}$ هو تكامل المركزي $< U(r) >= \int_0^\infty r^2 dr\, R_{nl}^2(r) U(r)$

انشطار مستويات $j = l \pm 1/2$ هو:

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

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

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

- إذا كان النكليون بروتونا، يكون عزمه المغناطيسي كالآتي:

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

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

- إذا كان النكليون نيترونا يكون عزمه المغناطيسي كالآتي:

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

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

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

4.5 التمارين المقترحة

التمرين الاول:

لدينا النواتين ${}^{17}_{9}\mathrm{F}$; ${}^{17}_{8}O$ أيهما أكثر استقرارا.

حل التمرين الأول:

الإيزوبارات هي مجموعة النظائر التي لها نفس A مثل ${}^{17}_{9}\mathrm{F}$; ${}^{17}_{8}\mathrm{O}$.

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

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

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

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

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

نحسب Z_0

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

إذن النواة الأكثر استقرار هي ${}^{17}_{8}O$

التمرين الثاني:

بين أن:

$$\Pi Y_m^l(\theta,\varphi) = (-1)^l Y_m^l(\theta,\varphi)$$

حل التمرين الثاني:

$$\Pi Y_m^l(\theta,\varphi) = Y_m^l(\Pi-\theta,\Pi+\varphi)$$
$$Y_m^l(\theta,\varphi) = N_{l,m}P_{l,m}(Cos(\theta))e^{im\varphi}$$
$$Y_m^l(\Pi-\theta,\Pi+\varphi) = N_{l,m}P_{l,m}(-Cos(\theta))e^{im\varphi}e^{im\Pi}$$
$$P_{l,m}\big(-Cos(\theta)\big) = (-1)^{l-m}P_{l,m}\big(Cos(\theta)\big)$$
$$e^{im\Pi} = (e^{i\Pi})^m = (-1)^m$$
$$Y_m^l(\Pi-\theta,\Pi+\varphi) = (-1)^{l-m}(-1)^m N_{l,m}P_{l,m}(Cos(\theta))e^{im\varphi}$$
$$Y_m^l(\Pi-\theta,\Pi+\varphi) = (-1)^l N_{l,m}P_{l,m}(Cos(\theta))e^{im\varphi}$$
$$\Pi Y_m^l(\theta,\varphi) = (-1)^l N_{l,m}P_{l,m}(Cos(\theta))e^{im\varphi}$$
$$\Pi Y_m^l(\theta,\varphi) = (-1)^l Y_m^l(\theta,\varphi)$$

التمرين الثالث:

استعمل نموذج الطبقات ومثل مخطط لتوزيع النكليونات لكل من الانوية التالية $^{16}_{9}F$, $^{17}_{9}F$, $^{18}_{9}F$.

- اوجد العزم الزاوي لكل من هذه الانوية.

حيث ان: $M(^{16}_{9}F)=16.011466$, $M(^{17}_{9}F)=17.002095$, $M(^{18}_{9}F)=18.000937$

حل التمرين الثالث:

- تمثل مخطط لتوزيع النكليونات لكل من الانوية التالية $^{16}_{9}F$, $^{17}_{9}F$, $^{18}_{9}F$. باستعمل نموذج الطبقات

$$^{16}_{9}F = \left(1S^{\frac{1}{2}}\right)^{2p+2n}\left(1P^{\frac{3}{2}}\right)^{4p+4n}\left(1P^{\frac{1}{2}}\right)^{2p+1n}\left(1d^{\frac{5}{2}}\right)^{1p}$$
$$^{17}_{9}F = \left(1S^{\frac{1}{2}}\right)^{2p+2n}\left(1P^{\frac{3}{2}}\right)^{4p+4n}\left(1P^{\frac{1}{2}}\right)^{2p+2n}\left(1d^{\frac{5}{2}}\right)^{1p}$$
$$^{18}_{9}F = \left(1S^{\frac{1}{2}}\right)^{2p+2n}\left(1P^{\frac{3}{2}}\right)^{4p+4n}\left(1P^{\frac{1}{2}}\right)^{2p+2n}\left(1d^{\frac{5}{2}}\right)^{1p+1n}$$

- ايجاد العزم الزاوي لكل من هذه الانوية.

في حالة $^{16}_{9}F$: حيث الطبقة الاخيرة تحمل عدد فردي من البروتونات وعدد فردي من النوترونات

$$J(^{16}_{9}F) = \overrightarrow{J_p} + \overrightarrow{J_n}$$

$$J_p = \left(1d^{\frac{5}{2}}\right)^{1p} \quad , \quad J_n = \left(1P^{\frac{1}{2}}\right)^{1n}$$
$$J({}^{16}_{9}F) = \frac{5}{2} + \frac{1}{2} = 3$$
$$0 \leq J \leq 3$$
$$J = 0,1,2,3$$
في حالة $^{17}{}_{9}F$: حيث الطبقة الاخيرة تحمل عدد عدد فردي من البروتونات وعدد زوجي من النوترونات
$$J({}^{17}_{9}F) = \overrightarrow{J_p} + \overrightarrow{J_n}$$
$$J_p = \left(1d^{\frac{5}{2}}\right)^{1p} \quad , \quad J_n = \left(1P^{\frac{1}{2}}\right)^{2n} = 0$$
$$J({}^{17}_{9}F) = \frac{5}{2} + 0 = \frac{5}{2}$$
في حالة $^{18}{}_{9}F$: حيث الطبقة الاخيرة تحمل عدد فردي من البروتونات وعدد فردي من النوترونات
$$J({}^{18}_{9}F) = \overrightarrow{J_p} + \overrightarrow{J_n}$$
$$J_p = \left(1d^{\frac{5}{2}}\right)^{1p} \quad , \quad J_n = \left(1d^{\frac{5}{2}}\right)^{1n}$$
$$J({}^{16}_{9}F) = \frac{5}{2} + \frac{5}{2} = 5$$
$$0 \leq J \leq 5$$
$$J = 0,1,2,3,4,5$$

التمرين الرابع:

بين أن:

$$\vec{\mu} = \frac{I.S}{C}\overrightarrow{e_\perp} = \frac{q|\vec{L}|}{2mc}$$

حل التمرين الرابع:

$$\vec{\mu} = \frac{I.S}{C}\overrightarrow{e_\perp}$$
$$S = \Pi r^2 \ , \quad I = \frac{dq}{dt} \quad , t = \frac{2\Pi r}{v}$$
$$I = \frac{q}{\frac{2\Pi r}{v}} \quad \Rightarrow t = \frac{qv}{2\Pi r} = \frac{qmv}{2\Pi rm} = \frac{qmvr}{2\Pi r^2 m}$$
$$|\vec{L}| = mvr \quad \Rightarrow I = \frac{q|\vec{L}|}{2\Pi r^2 m}$$

$$S = 2\Pi r^2 \quad \Rightarrow S.I = \frac{q|\vec{L}|}{2m}$$
$$\vec{\mu} = \frac{I.S}{C}\overrightarrow{e_\perp} = \frac{q|\vec{L}|}{2mc}$$

التمرين الخامس:

أحسب عزم وزوجية الأنوية التالية: ${}_{2}^{4}He,\ {}_{3}^{5}Li\ ,\ {}_{8}^{16}O, {}_{8}^{17}O, {}_{8}^{15}O$

حل التمرين الخامس:

${}_{2}^{4}He: (1S^{1/2})^{2p+2n}, \quad J^{\Pi}({}_{2}^{4}He) = (0)^{+}$

${}_{3}^{5}Li: (1S^{1/2})^{2p+2n}\,(1P^{3/2})^{1p}\,, \quad J^{\Pi}({}_{3}^{5}Li) = (3/2)^{-}$

${}_{8}^{16}O: (1S^{1/2})^{2p+2n}\,(1P^{3/2})^{4p+4n}\,(1P^{1/2})^{2p+2n}, \quad J^{\Pi}({}_{8}^{16}O) = (0)^{+}$

${}_{8}^{17}O: (1S^{1/2})^{2p+2n}\,(1P^{3/2})^{4p+4n}\,(1P^{1/2})^{2p+2n}\,(1d^{5/2})^{1n}, \quad J^{\Pi}({}_{8}^{17}O) = (5/2)^{+}$

${}_{8}^{15}O: (1S^{1/2})^{2p+2n}\,(1P^{3/2})^{4p+4n}\,(1P^{1/2})^{2p+1n}, \quad J^{\Pi}({}_{8}^{15}O) = (1/2)^{-}$

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

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

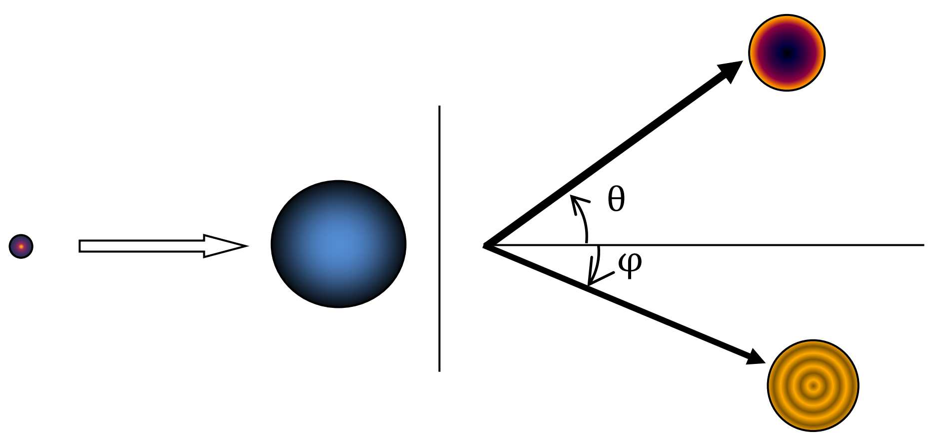
1.6 معادلة التفاعل النووي:

يمكن التعبير على أي تفاعل نووي كما يلي:

$$X + x \to Y + y$$

بإختصار $X(x, y)Y$

و يحدث التفاعل النووي كما في الشكل (1.6)



الشكل (1.6): التفاعل النووي

2.6 الجسيمات المقذوفة

بعض الجسيمات المقذوفة:

الجسيمات القاذفة

particule		Notation

neutron	n	${}_{0}^{1}n$
Proton	p	${}_{1}^{1}H$
Deutéron	d	${}_{1}^{2}H$
Tritérium	t	${}_{1}^{3}H$
Heluim3	h	${}_{2}^{3}H_e$
Heluim4	α	${}_{2}^{4}H_e$

مثال:

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

$$ {}_{7}^{14}N(\propto, P)\,{}_{8}^{17}O $$

مناقشة بعض الحالات :

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

- إذا كان x هو y فالتفاعل تفاعل تشتت و X هو Y
  - يكون التشتت مرن إذا كان مجموع الطاقة الحركية لـ Yو y يساوي الطاقة الحركية لـX
  - يكون التشتت غير مرن إذا كان مجموع الطاقة الحركية لـYوy أقل من الطاقة الحركية لـ x وتنتج إذن نواة راسبة Y متهيجة
- إذا كانت x هي فوتون يسمى التفاعل تفاعل فوتو نووي
- إذا كانت y هي فوتون يسمى التفاعل النووي بالأسر الإشعاعي

في التفاعل النووي تكون الشحنة الكهربائية وعدد النكليونات محفوظة إذا كانت كتلة المتفاعلات أكبر من كتلة النواتج يحدث التفاعل. إذا كانت كتلة المتفاعلات أقل من كتلة النواتج لا يحدث التفاعل إلا إذا كان الجسيم القاذف يملك سرعة كبيرة .

3.5 معادلة الطاقة المتحررة للتفاعل النووي:

من الشكل (1.6) نجد:

- **إنحفاظ الطاقة:**

$$ K_x + M_x c^2 + M_x c^2 = K_y + M_y c^2 + K_y + M_y c^2 \qquad (1.6) $$

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

$$\varphi = \left(K_y + K_Y\right) - K_x \qquad (3.6)$$

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

- **إنحفاظ الـدفع:**

$$P_x = P_y cos\theta + P_Y cos\varphi \qquad \mathbf{(5.6)}$$

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

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

$$P = (2MK)^{1/2}$$

$$2M_xK_x - 2(2M_xK_x)^{1/2}(2M_yK_y)^{1/2}cos\theta + 2\left(2M_yK_y\right) = 2M_YK_Y \qquad (8.6)$$

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

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

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

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

4.6 طاقة العتبة:

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

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

6. التمارين المقترحة

<u>التمرين الأول:</u>

قصف نيترون نواة الاكسجين $^{16}_{8}O$ فنتج الديتريون $^{2}_{1}H$

ماهي النواة الناتجة عن هذا التفاعل.

حل التمرين الأول:

$^{16}_{8}O + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{A}_{Z}X + ^{2}_{1}H$

- من قانوني الانحفاظ نجد:

- $16 + 1 = A + 2 \rightarrow A = 15$
- $8 = Z + 1 \rightarrow Z = 7$

- و منه:

$^{15}_{7}X = ^{15}_{7}N$

$^{16}_{8}O + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{15}_{7}N + ^{2}_{1}H$

$$\boxed{^{16}_{8}O(n, d)^{15}_{7}N}$$

التمرين الثاني:

قصف برتون نواة $^{20}_{10}Ne$ فانبعث جسيم الفا α

ماهي النواة المتخلفة واكتب معادلة التفاعل.

حل التمرين الثاني:

$^{20}_{10}Ne + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{A}_{Z}X + ^{4}_{2}He$

- من قانوني الانحفاظ نجد:

- $20 + 1 = A + 4 \rightarrow A = 17$
- $10 + 1 = Z + 2 \rightarrow Z = 9$

- و منه:

$^{17}_{9}X = ^{17}_{9}F$

$^{20}_{10}Ne + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{17}_{9}F + ^{4}_{2}He$

$$\boxed{^{20}_{10}Ne(P, \alpha)^{17}_{9}F}$$

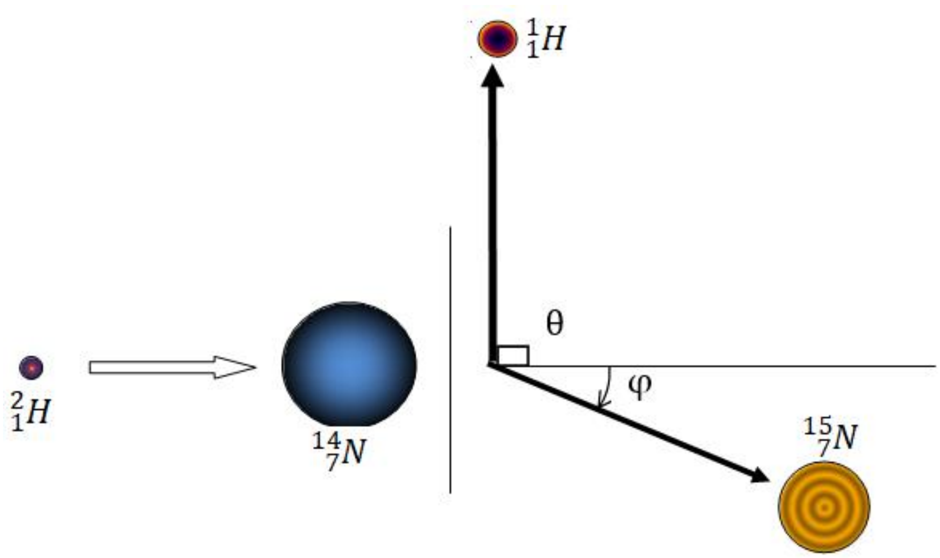
التمرين الثالث:

عند استخدام ديترونات طاقتها 5Mev في التفاعل $^{15}_{7}N$ (d,p) $^{14}_{7}N$ انبعث بروتون بزاوية قدرها 90^0 وطاقة 12.124Mev مع العلم ان النواة $^{14}_{7}N$ ساكنة

- احسب مقدار طاقة التفاعل Q
- احسب كتلة النواة $^{14}_{7}N$

$M(^{15}_{7}N)=15.000108u$, $m(^{1}_{1}H)=1.007276u$, $M(^{2}_{1}H)= 2.014101u$

<u>حل التمرين الثالث:</u>



$$^{14}_{7}N(d,p)^{15}_{7}N$$

$$^{14}_{7}N + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{15}_{7}N + ^{1}_{1}H$$

$$M(^{15}_{7}N) = 15.000108\,u \;,\; M(^{1}_{1}H) = 1.007825\,u \,,\, M(^{2}_{1}H) = 2.014101\,u$$

- حساب طاقة التفاعل Q:
- انحفاظ الدفع الخطي:

$$\overrightarrow{P_{^{2}_{1}H}} + \overrightarrow{P_{^{14}_{7}N}} = \overrightarrow{P_{^{15}_{7}N}} + \overrightarrow{P_{^{1}_{1}H}}$$

- بالإسقاط على المحورين:

$$P_{^{2}_{1}H} = P_{^{15}_{7}N}.\cos(\varphi) + 0$$

$$0 = -P_{^{15}_{7}N}.\sin(\varphi) + P_{^{1}_{1}H}$$

- بالتربيع ثم بالجمع:

$$P^2{}_{{}^{15}_{7}N} = P^2{}_{{}^{2}_{1}H} + P^2{}_{{}^{1}_{1}H}$$

$$P^2 = 2.M.K$$

$$2.M({}^{15}_{7}N).k_{{}^{15}_{7}N} = 2.M({}^{2}_{1}H).k_{{}^{2}_{1}H} + 2.M({}^{1}_{1}H).k_{{}^{1}_{1}H}$$

- $$k_{{}^{15}_{7}N} = \frac{M({}^{2}_{1}H)}{M({}^{15}_{7}N)}.k_{{}^{2}_{1}H} + \frac{M({}^{1}_{1}H)}{M({}^{15}_{7}N)}.k_{{}^{1}_{1}H} = \frac{2.014101}{15.000108}.(5) + \frac{1.007825}{15.000108}.(12.124)$$

$$\rightarrow k_{{}^{15}_{7}N} = 1.485\ Mev$$

- $$Q = k_{{}^{1}_{1}H} + k_{{}^{15}_{7}N} - k_{{}^{2}_{1}H} = 12.124 + 1.485 - 5$$

$$\rightarrow Q = 8.609\ Mev$$

- حساب كتلة النواة ${}^{15}_{7}N$:

$$M({}^{14}_{7}N) = \frac{Q}{C^2} - M({}^{2}_{1}H) + M({}^{1}_{1}H) + M({}^{15}_{7}N)$$

$$M({}^{14}_{7}N) = 14.003074\ u$$

<u>التمرين الرابع:</u>

لدينا التفاعل التالي

$${}^{1}_{0}n + {}^{10}_{5}B \longrightarrow {}^{7}_{3}Li + {}^{4}_{2}He$$

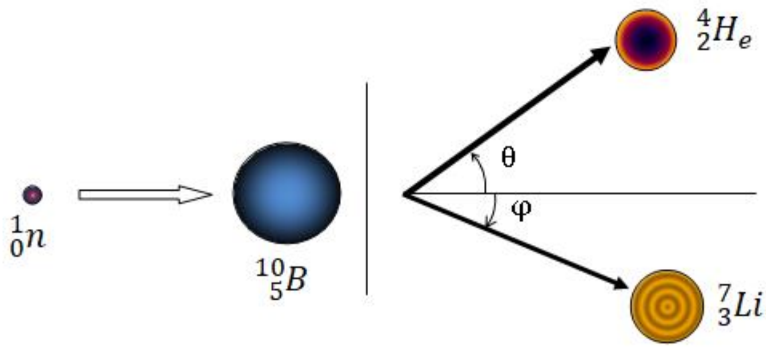
يحدث هذا التفاعل حتى في حالة اصطدام نيترونات بطيئة جدا بذرة بوزون في حالة سكون.

افرض ان $Kx = 0$ وان سرعة جسيمات الفا α كانت $9.3\ .10^6$ m/s

- احسب الطاقة الحركية لنواة الليثيوم
- احسب مقدار طاقة التفاعل Q
- احسب كتلة النواة ${}^{10}_{5}B$

$M(\alpha)=4.002603u$, $M({}^{7}_{3}Li)=7.016004u$, $M({}^{1}_{0}n)=1.008665u$, $1u=1.66\ .10^{-27}$ Kg

<u>حل التمرين الرابع:</u>



حساب الطاقة الحركية لنواة الليثيوم

$$^{1}_{0}n + {}^{10}_{5}B \rightarrow {}^{7}_{3}Li + {}^{4}_{2}H_e$$

- $\overrightarrow{P_{^{1}_{0}n}} + \overrightarrow{P_{^{10}_{5}B}} = \overrightarrow{P_{^{4}_{2}H_e}} + \overrightarrow{P_{^{7}_{3}L_\iota}}$

- بالإسقاط على المحورين:

- $0 = P_y.\cos(\theta) + P_Y.\cos(\varphi)$
- $0 = P_y.\sin(\theta) - P_Y.\sin(\varphi)$

$$P_y^2 = P_Y^2 \rightarrow \ 2.M_y.k_y = 2.M_Y.k_Y \rightarrow k_Y = \frac{M_y.k_y}{M_Y}$$

- $k_y = \frac{1}{2}m.v^2 = \frac{1}{2}(1.66 \times 10^{-27} \times 4.002603).(9.3 \times 10^{6})$

$$\rightarrow \ k_y = 2.87 \times 10^{-13}\ Joul = 1.72\ Mev$$

$$k_Y = \frac{M_y.k_y}{M_Y}$$

$$\rightarrow k_Y = \frac{4.002603 \times 1.72}{7.016004} = 0.98\ Mev$$

$$k_Y = 0.98\ Mev$$

- حساب طاقة التفاعل:

$$Q = k_Y + k_y - k_x - k_X$$

$$Q = k_Y + k_y - k_x - k_X = 0.98 + 1.72 - 0 - 0 = 2.7\ Mev$$

$$Q = 2.7\ Mev$$

- حساب كتلة النواة $^{10}_{5}B$:

$$Q = (M_x + M_X).C^2 - (M_y + M_Y).C^2$$

$$M(^{10}_{5}B) = \frac{Q}{C^2} + M(^{4}_{2}H_e) + M(^{7}_{3}L_i) - M(^{1}_{0}n)$$

$$\rightarrow M_X = M(^{10}_{5}B) = 10.012802\ u$$

التمرين الخامس:

لدينا التفاعل التالي $^{1}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{1}_{0}n + ^{3}_{2}He$

$m(^{1}_{1}H) = 1.007276u$, $M(^{3}_{1}H) = 3.016049u$, $M(^{3}_{2}He) = 3.016029u$, $M(^{1}_{0}n)=1.008665u$

احسب طاقة العتبة للبروتون علما ان $Q = -0.764$ Mev

حل التمرين الخامس:

$$^{1}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{1}_{0}n + ^{3}_{2}He$$

الطريقة الاولى

- $k_{th}(x) = -Q.\frac{M(y)+M(Y)}{M(Y)+M(y)-M(x)}$
- $k_{th}(^{1}_{1}H) = -Q\frac{M(^{1}_{0}n)+M(^{3}_{2}He)}{M(^{3}_{2}He)+M(^{1}_{0}n)-M(^{1}_{1}H)} = \frac{0.764(1.008665+3.016029)}{3.016029+1.008665-1.007276}$

$$k_{th}(^{1}_{1}H) = 1.019\ \ Mev$$

الطريقة الثانية

- $k_{th}(x) = -Q.\frac{M(x)+M(X)}{M(X)}$

- $k_{th}(^{1}_{1}H) = -Q\frac{M(^{1}_{1}H)+M(^{3}_{1}H)}{M(^{3}_{1}H)} = 0.764.\frac{(1.007276+3.016049)}{3.016049}$

$$k_{th}(^{1}_{1}H) = 1.019\ \ Mev$$

التمرين السادس:

اكمل الانوية المجهولة $^{122}_{52}Te(x,d)^{124}_{53}I$, $^{A}_{Z}X(p,\alpha)^{87}_{39}Y$, $^{18}_{8}O(d,p)^{A}_{Z}X$

حل التمرين السادس:

$$^{A}_{Z}X + ^{A}_{Z}x \rightarrow ^{A}_{Z}Y + ^{A}_{Z}y$$

1-

$^{122}_{52}T + ^{A}_{Z}X \rightarrow ^{124}_{53}I + ^{2}_{1}H$

- $A + 122 = 124 + 2 \rightarrow A = 4$
- $Z + 52 = 53 + 1 \rightarrow Z = 2$

$\rightarrow ^{4}_{2}X$

- و منه فان الجسم $^{4}_{2}X$ هو $^{4}_{2}He$

$^{122}_{52}T + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{124}_{53}I + ^{2}_{1}H$

$$\boxed{^{122}_{52}T(\alpha,d)^{124}_{53}I}$$

2-

$^{A}_{Z}X + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{87}_{39}Y$

- $A + 1 = 4 + 87 \rightarrow A = 90$
- $Z + 1 = 2 + 39 \rightarrow Z = 40$

$\rightarrow ^{90}_{40}X$

$\rightarrow ^{90}_{40}X + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{87}_{39}Y$

$$\boxed{^{90}_{40}X(p,\alpha)^{87}_{39}Y}$$

3-

$^{18}_{8}O + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{1}_{1}H + ^{A}_{Z}X$

- $A + 1 = 18 + 2 \rightarrow A = 19$
- $Z + 1 = 8 + 1 \rightarrow Z = 8$

$\rightarrow ^{19}_{8}X \rightarrow ^{19}_{8}O$

$\rightarrow ^{18}_{8}O + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{1}_{1}H + ^{19}_{8}O$

$$\boxed{^{18}_{8}O(d,p)^{19}_{8}O}$$

التمرين السابع:

أحسب لكل Q تفاعل

a) ${}^{18}_{8}O(\gamma,p){}^{15}_{7}N$, $M({}^{18}_{8}O) = 15.994915\,u$, $M({}^{15}_{7}N) = 15.000108\,u$
b) ${}^{150}_{62}Sm(p,\alpha){}^{147}_{61}Pm$, $M\left({}^{150}_{62}Sm\right) = 149.917276\,u$,$M({}^{147}_{61}Pm) = 146.915108\,u$

<u>حل التمرين السابع:</u>

- حساب Q:

$${}^{18}_{8}O(\gamma,p){}^{15}_{7}N$$
$${}^{18}_{8}O + \gamma \rightarrow {}^{1}_{1}H + {}^{15}_{7}N$$

$$Q = [M({}^{18}_{8}O) - m({}^{1}_{1}H) - M({}^{15}_{7}N)].C^2$$
$$= (15.9994915 - 1.007825 - 15.000108).931.5$$

$$\rightarrow Q = -11.61\,Mev$$

$${}^{150}_{62}Sm(p,\alpha){}^{147}_{61}Pm$$
$${}^{150}_{62}Sm + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{147}_{61}Pm + {}^{4}_{2}He$$

$$Q = [M({}^{18}_{8}O) + m({}^{1}_{1}H) - M({}^{147}_{61}Pm) - M({}^{4}_{2}He)].C^2$$
$$= (149.917276 + 1.007276 - 146.915108 - 4.002603)931.5$$

$$\rightarrow Q = 6.37\,Mev$$

- و منه التحويل قانوني

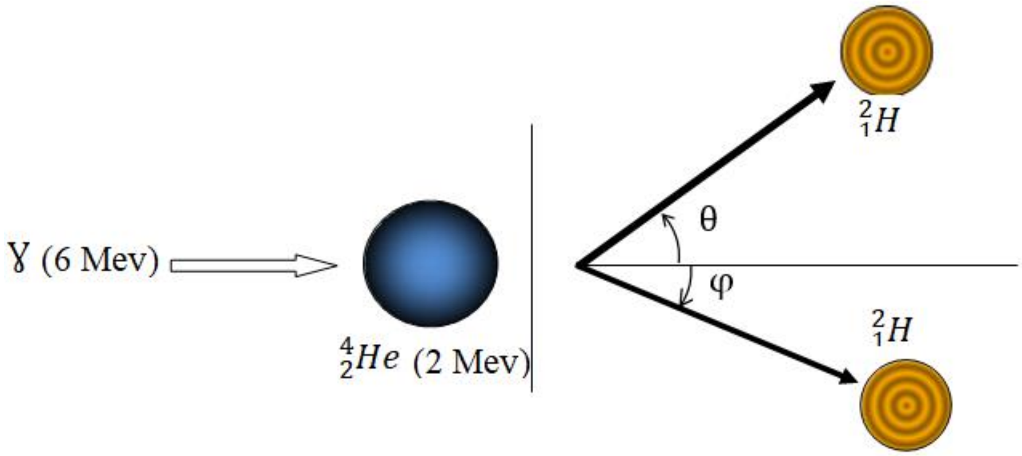
<u>التمرين الثامن:</u>

اصطدم فوتون طاقته 6 Mev مباشرة مع نواة ${}^{4}_{2}He$ طاقتها 2Mev لهما نفس الاتجاه وأنتجا ديترونين.

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

$M(\alpha)$=4.002603u , $M({}^{2}_{1}H)$= 2.014101u

<u>حل التمرين الثامن:</u>



$$\overrightarrow{P_x} + \overrightarrow{P_X} = \overrightarrow{P_y} + \overrightarrow{P_Y}$$

- بالإسقاط على المحورين:

$$P_x + P_X = P_y.\cos(\theta) + P_Y.\cos(\varphi)$$
$$0 = P_y.\sin(\theta) - P_Y.\sin(\varphi)$$

$$P_y.\sin(\theta) - P_Y.\sin(\varphi) \rightarrow P_y = P_Y$$

- $2(M_y.k_y)^{\frac{1}{2}} = 2(M_Y.k_Y)^{\frac{1}{2}} \quad , \quad k_y = k_Y$
- $Q = (M_x + M_X).C^2 - (M_y + M_Y).C^2$
- $Q = k_y + k_Y - k_x - k_X$

$$\rightarrow M_X.C^2 - (M_y + M_Y).C^2 = 2.k_Y - k_x - k_X$$

$$\rightarrow k_Y = \frac{M_X.C^2 - (M_y + M_Y).C^2 + k_x + k_X}{2}$$
$$= \frac{4.002603 \times 931.5 - (2 \times 2.014101) \times 931.5 + 8}{2}$$

$$\rightarrow k_Y = -7.9227\ Mev$$

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

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

1.7 الانشطار النووي

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

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

وبشكل عام تعطى معادلة الانشطار النووي كالتالي :

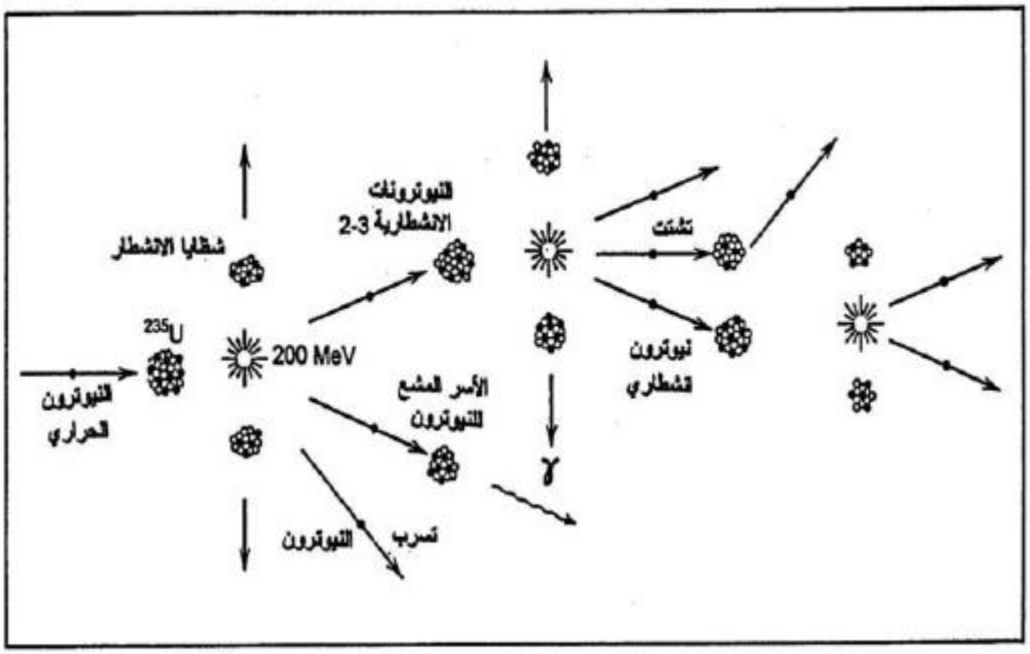
$$n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{236}_{92}U \rightarrow N_1 + N_2 + \text{neutrons}$$

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

1.1.7التفاعل النووي المتسلسل

تتحرر عند انشطار النوى طاقة هائلة، حوالي 200 إلكترون فولت لكل نواة منشطرة. و كذا يصاحب هذا انشطار انطلاق نيترونات إضافية معدل هذه النيترونات الناتجة هو من 2.5 الى3 نيترون لكل تفاعل انشطاري أي في حال انشطار نواة واحدة.

ولتوضيح أهمية ذلك، لنفترض أننا بدأنا بقصف نواة ^{235}U بنترون فتنشطر هذه النواة معطيه نيترونين، لنفترض أن كلا منهما ينفذ الى نواة من انوية اليورانيوم ويسبب انشطارها. فتحرران أربعة نيترونات جديدة، وهذه النيترونات تسبب انشطار أربعة انويه وانبعاث ثمانية نيترونات، وفي الجيل التالي نجد ستة عشر نيترونا ثم اثنان وثلاثون وهكذا . . . ، أي أن كل من كمية النيترونات المتحررة وكمية الأنوية المنشطرة تزداد باستمرار وهو موضح في الشكل رقم (2.7).



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

2.1.7 معامل التضاعف

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

وسنطلق اسم معامل المضاعفة على نسبة عدد النيترونات المتكونة في الجيل الحالي على عدد النيترونات الجيل السابق,

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

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

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

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

حيث N عدد النيترونات المتكونة خلال عملية الانشطار، في اللحظة N_0,t عددها في اللحظة الابتدائية فاذا كان:

- $K > 1$ تتزايد N بمرور الزمن ويدعى بالنظام فوق الحرج supereritical system وهو ما يحدث في القنابل الذرية.

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

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

2.7 التفاعلات الاندماجية

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

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

$$^1_1H + ^1_0n \rightarrow ^2_1H + \gamma$$

الطاقة المتحررة من هذا التفاعل:

1.007825+1.008665=2.016490 Uma

2.014102u<2.016490 Uma

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

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

$$^1_1H + ^1_1H \rightarrow ^2_1H + \beta^+ + \nu$$

$$^1_1H + ^2_1H \rightarrow ^3_2He + \gamma$$

$$^3_2He + ^3_2He \rightarrow ^4_2He + ^1_1H + ^1_1H$$

هذه السلسلة يمكن ان تتلخص بالمعادلة التالية:

$$4^1_1H \rightarrow ^4_2He + 2\beta^+ + 2\nu + 2\gamma$$

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

1.2.7 المفاعلات الاندماجية

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

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

8. التمارين المقترحة

التمرين الأول: احسب كمية الطاقة المتحررة للتفاعل ا لاندماجي النووي الاتي:

$$^{7}_{3}Li + ^{1}_{1}H \longrightarrow ^{4}_{2}He + ^{4}_{2}He$$

حل التمرين الأول:

حساب كمية الطاقة المتحررة للتفاعل ا لاندماجي النووي

$$Li + ^{1}_{1}H \longrightarrow ^{4}_{2}He + ^{4}_{2}He$$

$$Q = [M(^{7}_{3}Li) + M(^{1}_{1}H) - 2M(^{4}_{2}He)].C^2$$

$$Q = [7.016004 + 1.007825 - 2 \times 4.002603]u.931.5\frac{Mev}{u}$$

$$Q = 17.35\ Mev$$

التمرين الثاني: احسب كمية الطاقة المتحررة من تفاعل الاندماج لسلسلة البروتون-البروتون المعطى في الشكل:

$$4(^{1}_{1}H) \longrightarrow ^{4}_{2}He + 2(\beta^{+}) + 2\nu$$

حل التمرين الثاني:

حساب كمية الطاقة المتحررة من تفاعل الاندماج لسلسلة البروتون-البروتون

$$4(^{1}_{1}H) \longrightarrow ^{4}_{2}He + 2(\beta^{+}) + 2\nu$$

$$Q = [4 \times M(^{1}_{1}H) - M(^{4}_{2}He) - 2 \times m(_{-1}^{0}e)].C^2$$

$$Q = [4 \times 1.007825 - 2.002603 - 4 \times 0.000549]u.931.5\frac{Mev}{u}$$

$$Q = 24.7\ Mev$$

التمرين الثالث: لتكن Δm نقص الكتلة للنكليد $_{Z}^{A}X$ ، نعرف $f=\dfrac{\Delta m}{A}$ بانها نسبة التغليف (وهي تعطي فكرة عن الطاقة المتوسطة التي تربط نكليونات النواة) عندما تكون A كبيرة نسبيا فان العلاقة التالية محققة

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

اذا كان انشطار نواة اليورانيوم ^{235}U حسب التفاعل التالي

$$^{235}U+{}^{1}n \longrightarrow {}^{90}X+{}^{143}Y+3{}^{0}_{-1}e$$

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

2- احسب الطاقة المتحررة عن الانشطار.

حل التمرين الثالث:

1- حساب النقص في الكتلة لكل من $^{235}U\,,{}^{90}X\,,{}^{143}Y$

$$\Delta m(^{235}U):\ \ 10^4 f=-16+\frac{AX_0}{11}\rightarrow f=5.3636\times 10^{-4}\,,$$
$$\Delta m=f.A=5.3636\times 10^{-4}\ \times 235=0.126\,u$$
$$\Delta m(^{90}X):\ \ 10^4 f=-16+\frac{AX_0}{11}\rightarrow f=-781818\times 10^{-4}\,,$$
$$\Delta\, m=f.A=5.3636\times 10^{-4}\ \times 90=-0.07036\,u$$
$$\Delta m(^{143}Y):\ \ 10^4 f=-16+\frac{AX_0}{11}\rightarrow f=-3\times 10^{-4}\,,$$
$$\Delta m=f.A=5.3636\times 10^{-4}\ \times 143=-0.0429\,u$$

2- حساب الطاقة المتحررة عن الانشطار.

$$\Delta M=\Delta m(^{235}U)+\Delta m(^{90}X)+\ \Delta m(^{143}Y)$$
$$=\ 0.01274\,u$$
$$Q=\Delta M.C^2=0.01274$$
$$Q=11.8673\,Mev$$

التمرين الرابع: صمم مفاعل نووي انشطاري (وقوده اليورانيوم) ينتج 1MW من الطاقة بصفة مستمرة.

- ماهو عدد الانشطارات التي يجب ان تحدث في الثانية
- ماهي كتلة اليورانيوم التي تستهلك كل سنة.
- كم كانت كتلة اليورانيوم التي تحولت الى طاقة في السنة.

حل التمرين الرابع:

عدد الانشطارات التي يجب ان تحدث في الثانية.

$$N\ (fission) = \frac{1.10^6 J}{200.10^6.1.66.10^{-19} J}$$
$$N\ (fission) = 3.125 \times 10^{16}\ fission/s$$

كتلة اليورانيوم التي تستهلك كل سنة.

$$m = \frac{M({}^{235}_{92}U) \times N(fission)}{Na} = \frac{235 \times 10^{-3} \times 3.125 \times 10^{16}}{6.022 \times 10^{23}}$$
$$m = 11.75 \times 10^{-9}\ kg$$
$$11.75 \times 10^{-9} \times (365 \times 24 \times 3600) = 0.384\ kg$$

كتلة اليورانيوم التي تحولت الى طاقة في السنة.

$$E = m.C^2$$
$$m = \frac{E}{C^2} = \frac{1 \times 10^6}{(3 \times 10^8)^2} = 0.11 \times 10^{-10}\ g$$
$$0.11 \times 10^{-10} \times (365 \times 24 \times 3600) = 0.35\ kg$$

<u>التمرين الخامس:</u> كم هي كتلة اليورانيوم 235 التي يجب ان تخضع الانشطار كل يوم لتجهيز 3000MW من القدرة الحرارية.

<u>حل التمرين الخامس:</u>

كتلة اليورانيوم 235 التي يجب ان تخضع الانشطار كل يوم لتجهيز 3000MW من القدرة الحرارية.

في كل ثانية نحتاج 3000 MJ وبما ان كل انشطار يجهز لنا بحدود 200 Mev لذلك فان عدد الانشطارات المطلوبة في الثانية الواحدة هي:

$$N\ (fission) = \frac{3000.10^6 J}{200.10^6.1.66.10^{-19} J}$$
$$N\ (fission) = 9.4 \times 10^{19}\ fission$$

كتلة كل ذرة يورانيوم 235 هي $3.9 \times 10^{-23}\ kg$ لذلك فان كتلة يورانيوم 235 المطلوبة المطلوبة في كل ثانية هي:

$$m = \frac{M({}^{235}_{92}U) \times N(fission)}{Na} = \frac{235 \times 10^{-3} \times 9.4 \times 10^{19}}{6.022 \times 10^{23}}$$

$$m = 3.7 \times 10^{-5}\ kg = 37\ \mu g$$

لذلك ففي يوم كامل يكون مقدار الاستهلاك هو:

$$3.7 \times 10^{-5} \times (365 \times 24 \times 3600) = 3.2\ kg$$

كتلة اليورانيوم 235 التي يجب ان تخضع الانشطار كل يوم لتجهيز 3000MW من القدرة الحرارية هي $3.2\ kg$

للمقارنة فاننا بحاجة الى 10600 كن من الفحم لانتاج $1000\ MW$ فقط.

التمرين السادس:

- كم هي كتلة اليورانيوم 235 التي انشطرت في القنبلة الذرية الاولى التي كانت طاقتها تكافئ 20 كيلو طن من المادة المتفجرة TNT

حيث: $1KTon(TNT)=5\times10^{12}$ Joule

- كم كانت كتلة اليورانيوم التي تحولت الى طاقة.

حل التمرين السادس:

- الطاقة المتحررة هي:

$$Energy = 20 \times 5 \times 10^{12} = 10^{14}\,J = 6.26 \times 10^{26} Mev$$

$$N(fission) = \frac{Energy}{200\ Mev} = \frac{6.26 \times 10^{26}}{200} = 3.125 \times 10^{24}\ fission$$

$$m = \frac{M({}^{235}_{92}U) \times N(fission)}{Na} = \frac{235 \times 10^{-3} \times 3.125 \times 10^{24}}{6.022 \times 10^{23}} = 1.219\ kg$$

- كتلة اليورانيوم التي تحولت الى طاقة.

$$E = m.C^2$$

$$m = \frac{E}{C^2} = \frac{10^{14}}{(3 \times 10^8)^2} = 1\ g$$

أي أن الكتلة الحقيقية المتحولة الى طاقة هي غرام واحد فقط.

المراجع

***كتب باللغة العربية**

[1] د. مكي الحسني، مدخل الى الفيزياء النووية، ديوان المطبوعات الجامعية المساحة المركزية – بن عكنون الجزائر (05-91).

[2] د. مناف عبد الحسن، الفيزياء النووية، دار صفاء للنشر و التوزيع – عمان، الطبعة الاولى 2008م-1429هـ

[3] د. محمد حبيب بركات، د. مصطفى عبد السلام نصر، اسس الفيزياء النووية، دار الفكر للطباعة والنشر و التوزيع – عمان، الطبعة الاولى 2000م -1421هـ

[4] أ. د محمد فاروق احمد، أ. د احمد بن محمد السريع، مبادئ الاشعاعات المؤينة و الوقاية منها، سلسلة من النشرات المتخصصة تصدرها اللجنة الدائمة للوقاية من الاشعاعات بجامعة الملك سعود – المملكة العربية السعودية،.2007م-1428هـ

[5] د. احمد الناغي، د. محمد نبيل يس البكرى، الفيزياء النووية، دار الفكر العربي– القاهرة، 2008م-1429هـ

[6] أ. ن كليموف، ترجمة الدكتور مجدي مصطفى امام، الفيزياء النووية و المفاعلات النووية، دار (مير) للطباعة و النشر – الاتحاد السوفياتي موسكو، 1980م

[7] أ. د محمد فاروق احمد، د. احمد سريع، اسس الفيزياء الاشعاعية، سلسلة من النشرات المتخصصة تصدرها اللجنة الدائمة للوقاية من الاشعاعات بجامعة الملك سعود المملكة العربية السعودية،2007 م.

[8] أ.د.محمد فاروق أحمد - أ.د.أحمد بن محمد السريع، مبادئ الإشعاعات المؤينة و الوقاية منها، الطبعة الثانية، جامعة الملك سعود، 2007، المملكة العربية السعودية.

[9] نزيه حيدر رزيق قرفول، مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية سلسلة العلوم الاساسية، المجلد 28 ، العدد 20061،2006 .

[10] أ.د.أحمد سريع, د.محمد فاروق أحمد, أسس الفيزياء الإشعاعية , سلسلة من النشرات المتخصصة تصدرها اللجنة الدائمة للوقاية من الإشعاعات بجامعة الملك سعود المملكة العربية السعودية,2007م.

[11] د.غازي ياسين القيسي, أساسيات الفيزياء الحديثة, الطبعة الأولى , دار المسيرة, الأردن,2007.

[12] د.محمد قاسم محمد الفخار, الإشعاع و مصادره و تأثيراته البيولوجية,ايتراك للنشر و التوزيع , القاهرة- مصر, 2006.

[13] د.فوزي عبد الكريم أكرم, د.محمد قاسم محمد فخار, الفيزياء النووية و الإشعاعية, دار الكتب الوطنية بنغازي- ليبيا.

[14] أ.د.بن محمد سريع,أ.د. محمد فاروق احمد, مبادئ الإشعاعات المؤينة و الوقائية منها, الطبعة الثانية, جامعة الملك سعود,2007 , المملكة العربية السعودية .

[15] المهندس أزاد خسر و غفور , استخدامات الأشعة في البحوث و الطب و الصناعة و الحياة العامة, مديرية التقييس و السيطرة, العراق.

[16] محمد حبيب بركات, اساسيات الفيزياء النووية, الطبعة الاولى 2008-1428, دار الفكر ناشرون وموزعون, المملكة الاردنية الهاشمية-عمان-ساحة الجامع الحسيني-سوق البتراء-عمارة الحجيري.

[17] ماير هوف ترجمة عاصم عبد الكريم عزوز, مبادئ الفيزياء النووية, الجمهورية العراقية جامعة الموصل, مكتبة العامة لامانة عمان الكبرى 1993.

[18] عبد الكريم معيرش، المبادئ العامة للفيزياء النووية، ديوان المطبوعات الجامعية، بن عكنون – الجزائر، 2011.

***كتب باللغة الأجنبية**

[19] Physique nucléaire, Blanc D, Masson Paris 1980.

[20] Physique nucléaire et applications : Cours et exercices corrigés, Claude Le Sech, Christian Ngô. Collection: Sciences Sup, Dunod 2010.

[21] Luc Valentin, Noyaux et particules - Modèles et symétries, Hermann, 1997.

[22]A.de Shalit & H. Feshbach, Theoretical Nuclear Physics, 2 vol. , John Wiley & Sons, 1974. Volume 1: Nuclear Structure; volume 2 : Nuclear Reactions.

[23] Michel Gibier, Michel Spiro et Daniel Vigand, la Lumière des neutrinos-seuil-1995.

[24] Physique Subatomique PHQ 636, David Senechal, Département de physique Faculté des sciences, Université de Sherbrooke 30 Décembre 2008.

[25] A. R. Edmonds, Angular Momentum in Quantum Mechanics, 3rd printing Princeton University Press, Princeton, New Jersey (1974).

[26] L. I.Schiff, Quantum Mechanics, 3rd ed., McGraw-Hill, New York (1968).

[27] J.M. Blattand, V. F. Weisskopf, Theoretical Nuclear Physics, John Wiley and Sons, New York (1952).

[28] J. D. Walecka, Lectures on Electron Scattering, ANL-83-50, Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois (1984).

[29] J. D. Walecka, Theoretical Nuclear and Subnuclear Physics, Oxford University Press, New York (1988).