النماذج النووية

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 غاز فيرمي

لقد كان weiss kopf هو أول من أشار إلى أن هناك شرح بسيط لتحرك النكليونات بشكل مستقل داخل النواة في حالتها المستقرة و الشرح يستند على نموذج غاز فيرمي الذي هو من أول التجارب التي أدخلت ميكانيك الكم طبقا لهذا النموذج. يتحرك كل نكليون بتأثير جهد نووي تجاذبي يمثل معدل تفاعله مع باقي نكليونات النواة. إن هذا الكمون له عمق ثابت داخل النواة طالما أن توزيع النكليونات ثابت في هذه المنطقة أما خارج النواة يصبح معدوما ضمن مسافة تساوي مدى القوة النووية أي أن هناك بئر وبداخله مستويات طاقة محدودة تحت هذا الشرط. حسب الميكانيك الكونتي فإن النكليونات تشغل حالات 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 لغاز فيرمي:

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

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

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

وعدد النكليونات في الحجم V هو:

$$n = \frac{\iint d^3r d^3p}{(2\pi\hbar)^3} = \frac{V4\pi\int_0^{pmax} p^2 dp}{(2\pi\hbar)^3} \qquad (1.5)$$

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 $P_{\max} = P_F$

$$n = \frac{V4\pi\int_0^{pmax} p^2 dp}{(2\pi\hbar)^3} = \frac{V4\pi P_F^3}{3(2\pi\hbar)^3} \Longrightarrow n = \frac{VP_F^3}{6\pi^2\hbar^3} \qquad (2.5)$$

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

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

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 $B/A = 7 - 8 Mev$

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

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:

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

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

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

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:

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

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 :

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

قيم معاملات العلاقة الشبه التجريبية

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

نعرف معاملات العلاقة الشبه التجريبية كالتالي:

1.2.5 حد الحجم a_v:

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

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

$$\Rightarrow E_B = a_v\ A$$

2.2.5 حد السطح a_s:

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

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

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

إذن نضيف حد السطح للعلاقة السابقة.

3.2.5 حد كولوم a_c :

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

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

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

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:

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

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

6.2.5 طاقة فصل 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 ${}^{17}_{9}F$; ${}^{17}_{8}O$.

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

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

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

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

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

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

الحل: نحسب Z_0

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

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

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) :

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

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

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

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

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

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

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

إن التكامل النصف قطري يتحسس بضعف ل lـ 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 l 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:

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

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

- إذا كان النكليون نيترونا يكون عزمه المغناطيسي كالآتي:

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

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

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

4.5 التمارين المقترحة

التمرين الاول: احسب الحاجز الجهدي الكولومبي لنواتي الديتريوم بفرض ان القوة النووية تتسع بحدود 2 fr

- احسب درجة الحرارة المطلوبة للتغلب على هذا الجهد.

التمرين الثاني:

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

$M(^{50}_{25}Mn)=49.954215$, $M(^{50}_{24}Cr)=49.946055$, $M(^{50}_{23}V)=49.947164$, $M(^{50}_{22}Ti)=49.944786$, $M(^{50}_{21}Sc)=49.951730$

التمرين الثالث:

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

ناقش فيزيائيا ورياضيا هذه الطاقة

التمرين الرابع:

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

- اوجد العزم الزاوي لكل من هذه الانوية.

2/- احسب الفرق في الطاقة بين مستويي الطاقة للنيترونات $1d_{5/2}$, $1p_{1/2}$.

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