جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الانبار
كلية التربية للعلوم الصرفة
قسم الفيزياء

محاضرات مادة

الفيزياء النووية

لطلبة المرحلة الرابعة – قسم الفيزياء

إعداد
ا.م.د. علي خلف عبيد
كلية التربية للعلوم الصرفة / جامعة الانبار

الفصل الاول

المفاهيم الاساسية في الفيزياء النووية: Basic Concepts of Nuclear physics

إن دراسة الفيزياء النووية تتركز حول مشكلتين رئيسيتين هما :

1- محاولة فهم خواص القوة النووية التي تربط أجزاء النواة مع بعضها.
1- محاولة فهم تصرف المجموعات متعددة الاجسام كالنواة مثلا.

الصفات النووية الاساسية: (Basic Nuclear properties)

تقسم الصفات النووية من حيث إعتمادها على الزمن الى قسمين:

1- الصفات النووية غير المعتمدة على الزمن :هي الخواص الثابتة التي لا تتغير بتغير الزمن مثل الكتلة والحجم والشحنة والزخم الزاوي الذاتي (Intrinsic angular momentum) والذي يسمى بالبرم النووي (Nuclear spin).

2- الصفات النووية المعتمدة على الزمن : هي خواص غير ثابتة تتغير بتغير الزمن مثل الانحلال الاشعاعي (Radioactive decay) والتحويل الصناعي للعناصر (التفاعلات النووية Nuclear reactions) , وتوجد ايضا للنوى حالات متهيجة (exited states) تعتبر طاقاتها من صفات النوع الاول ولكن عملية تحلل هذه الحالات المتهيجة تعتبر من صفات النوع الثاني .

الكتلة النووية: (Nuclear Mass)

أفترض العالم الكيميائي براوت (Prout) عام 1815 إن كتلة اي ذرة (M) تعطى بالعلاقة :

$$M = integer * M_H$$

حيث (M_H) كتلة ذرة الهيدروجين . وقد استخدمت هذه العلاقة لغرض مقارنة الكتل الذرية , أما العدد الكامل (integer) فهو ما يطلق عليه الان بالعدد الكتلي (mass number) ويرمز له بالرمز (A) وعليه يمكن كتابة المعادلة اعلاه بالصيغة التالية:

$$M = A\, M_H$$

لذا اطلق على فرضية براوت بفرضية الاعداد الصحيحة وإن هذه العلاقة تعني إن نواة الذرة تحتوي على جسيمات مشحونة بشحنة موجبة فقط ولما كانت ذرة الهيدروجين هي أبسط ذرة في الطبيعة فقد أفترض إن كتلة أي ذرة متكونة من مجموعة من ذرات الهيدروجين .مثلا ذرة الاوكسجين مكونة من 16 ذرة هيدروجين والليثيوم-7 مكونة من 7 ذرات هيدروجين.

ألا إن ***باركلا*** لاحظ بواسطة استطارة الاشعة السينية (X- ray) ان العدد الذري (Z) والذي يمثل عدد الالكترونات في الذرة وكذلك عدد الشحنات النووية الموجبة (البروتونات) لا يساوي العدد الكتلي (A) وهذه النتيجة قد أدت إلى ظهور ***الفرضية الأولى*** حول التركيب النووي والتي تنص على إن ***((النوى مكونة من (A) من البروتونات و -(A-Z) من الالكترونات المقيدة داخل النواة))*** . ولما كانت كتلة الالكترونات صغيرة نسبيا فهي لاتؤثر على المعادلة السابقة وتبقى نافذة المفعول.وتسمى هذه الفرضية بفرضية براوت او فرضية الالكترون – بروتون.ان انبعاث اشعة الفا واشعة بيتا (ذات الطبيعة الجسيمية)من بعض الذرات المشعة قد ادى الى الاعتقاد بان الذرات مكونة من اجزاء اساسية في حين كان يعتقد بان الذرات هي اصغر اجزاء المادة والتي تشترك في التفاعلات الكيمياوية.

لقد نجحت هذه الفرضية في تفسير انبعاث جسيمات بيتا السالبة$\bar{\beta}$ باعتبار كل منها الكترون نووي فمتى ماجهز هذا الالكترون بطاقة كافية تمكنه من الافلات من النواة فانه سيتحرر منها كما نجحت هذه الفرضية في تفسير انبعاث جسيمات الفا (α)باعتبار ان كلا منها مكون من اربعة بروتونات والكترونين نوويين الا انها فشلت في تفسير النتائج الاتية:

1-طاقة وزخم جسيمات بيتا السالبة:لو كانت جسيمات $\bar{\beta}$ المنبعثة من بعض النوى موجوده اصلا داخل تلك النوى بشكل الكترونات نووية كما تنص الفرضية لوجب ان تكون طاقتها بحدود 60MeV وفق ما جاء به هيزنبرك كما سنرى لاحقا بينما عمليا نجد ان طاقتها لا تزيد عن 4MeV مما يدل على ان انبعاثها يكون انيا لحظة خلقها او تكوينها حيث انها ناتجة من تحول $n \leftarrow p$ وفق التفاعل: $n \rightarrow p + \bar{\beta} + \bar{\nu}$

من ناحية الزخم الخطي لو كانت $\bar{\beta}$ موجودة اصلا داخل النواة كالكترون نووي لوجب ان يكون ارتداد النواة بعكس اتجاه انبعاث $\bar{\beta}$ بينما عمليا لا يحدث هذا.

2-حفظ الزخم الزاوي:لقد اثبتت التجارب بان النوى التي لها اعداد كتلية زوجية تمتلك زخما زاويا مساويا لعدد صحيح اي ان: $I=0,1,2,3,\ldots..$ for A = even

اما الفردية العدد الكتلي فانها تمتلك زخما يساوي نصف عدد فردي اي: $I=\frac{1}{2},\frac{3}{2},\frac{5}{2},\ldots..For\ A=odd$

في حين وفقا لفرضية براوت يجب ان يكون للنوى الزوجية(الفردية-الفردية) مثل $^{10}_{5}B$ زخما زاويا مساويا لعدد فردي مضروبا بنصف وللنوى االفردية لكنها زوجية العدد الذريz وفردية n مثل $^{9}_{4}Be$زخم زاوي يساوي عدد صحيح بينما الواقع والتجربة اثبتت عكس ذلك.فوفقا لفرضية براوت فان نواة النتروجين-14 مكونة من 14 بروتونا و7 الكترونات نووية اي ان عدد الجسيمات التي بداخلها هو21 فهذا يعني ان الزخم البرمي لها يساوي عدد صحيح مضروبا بنصف $\hbar$

ولما جاء **هايزنبرك** بمبدأ عدم الدقة (اللادقة) في التعيين فقد أثبت انه لا يمكن للالكترون أن يتواجد في النواة حيث إن:

$$\Delta P\ \Delta X \geq \hbar$$

حيث (ΔX) هي ابعاد النواة وتساوي ($2*10^{-12}$cm) لذلك نجد :

$$\Delta P = \frac{\hbar}{\Delta x} = \frac{6.6\times10^{-27}\ \text{erg.sec}}{2\times10^{-12}\text{cm}} = 3.3\times 10^{-15}\ \text{erg.sec/cm}$$

$$E^2 = P^2c^2 + m_O{}^2c^4 = 10^{-8}+10^{-12}$$

$$E = 10^{-4}\text{erg} = 10^{-4}/1.6\times10^{-12} = 6\times 10^{7}\text{ eV} = \boldsymbol{60\ MeV}$$

أي إن طاقة الربط للالكترون هي (60MeV) وهي طاقة كبيرة لا يمكن للإلكترون أن يستقر في النواة اذا كان يمتلكها لان أقل طاقة لتواجد الالكترون داخل النواة هي (8Mev) .

وبعد اكتشاف النيوترون من قبل شادويك عام 1932 قد ادى **بهايزنبرك** في نفس العام لافتراض ***فرضية البروتون – نيوترون*** التي تنص على ان ***((البروتونات والنيوترونات هي المكونات الاساسية لجميع النوى)).*** اي إن النواة تتكون من (Z) من البروتونات و (N) من النيوترونات وإن كتلة النواة تعطى بصورة تقريبية حسب الصيغة التالية:

$$\boldsymbol{M \approx Z\ M_P + N\ M_n}$$

حيث (M_P) كتلة البروتون , (M_n) كتلة النيوترون . ونلاحظ إن هنالك فرقا بين طرفي هذه المعادلة وهذا الفرق يمثل طاقة الترابط النووية والذي سنراه لاحقا.

شحنة النواة: (Nuclear charge)

تعزى شحنة النواة الى شحنة بروتوناتها حيث ان النيوترونات عديمة الشحنة لذا فهي تساوي العدد الذري (Z) مضروبا بشحنة البروتون وهي ($q_p = -e = +1.6\times10^{-19}$C) اي ان:

$$\boldsymbol{Q_{Nu} = Z\ q_p = +1.6\times10^{-19}\ Z}$$

اي ان الشحنة النووية هي مجموع شحنات البروتونات في النواة .

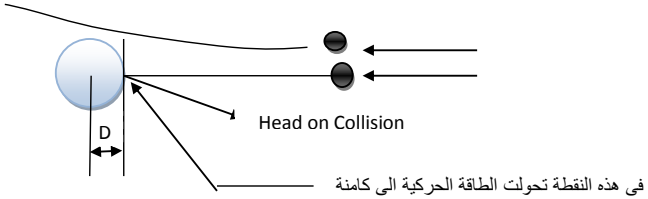
الحجم النووي: (Nuclear size)

من اولى النظريات التي وضعت حول تركيب الذرة هي نظرية ثومسن (Thomson theory)

لقد كان من المعتقد ان الالكترونات تسبح في وسط كثيف من الشحنات الموجبة داخل الحجوم الذرية 10^{-8} cm واستنادا الى هذا النموذج فان اختراق الجسيمات السريعة للمواد انما يتم عن طريق الانتشار فقط الا ان تجارب استطارة جسيمات الفا بواسطة صفائح الذهب الرقيقة التي قام بها (كايكر ومارسيدن 1909 Geiger and Marsdon)قد اظهرت ان الجسيمات المرتدة الى الوراء يكون اكبر مما يمكن ان تسمح به نظرية تومسون حيث كان يعتقد بناءا على هذا المفهوم ان جسيمات الفا يجب ان تنفذ بشكل مباشر مع انتشار بسيط في شدة الحزمة , الا إنهما لاحظا ان حزمة اشعة الفا قد انتشرت انتشارا واسعا بعد خروجها من الصفيحة وان قسما من هذه الاشعة قد ارتد خلفا بزاوية (180°) مع الحزمة الساقطة ولما **كان مفهوم تومسون لا يستطيع تفسير هذه الظاهرة فقد افترض رذرفورد ان هذه الظاهرة ناتجة عن وجود نواة ذرية صغيرة ابعادها اقل من(10^{-8}cm) تؤثر بقوة كهربائية بسيطة (قوة كولوم) على جسيم الفا** وقد تمكن بذلك ان يستخرج قانون الاستطارة. او(بمعنى اخران رذرفورد افترض ان الذرة تتكون من جسم صلب صغير مشحون بالشحنة الموجبة ويحتوي على اغلب كتلة الذرة وتشكل ابعاده جزءا صغيرا يعادل (10^{-12}cm) من ابعاد الذرة الكلية البالغة (10^{-8}cm) وقد سمي هذا الجزء بالنواة وتحاط النواة بعدد من الالكترونات يساوي عدد الشحنات الموجبة فيها وتكون الالكترونات على مسافة من النواة).

ان قياسات لاحقة اظهرت ان قانون رذرفورد لا ينطبق (يفشل) في حالة 1- كون جسيمات الفا ذات طاقة عالية جدا 2- عندما يكون العدد الذري للمادة المستخدمة كهدف صغير جدا.

كان اول محاولة لتحديد قطر النواة قد تم من دراسة المسافة التي يبطل عندها قانون رذرفورد في الاستطارة حيث عند اقتراب جسيمة الفا من النواة بمسافة (اقل من نصف القطر) تبدأ عندها القوة النووية بالتأثير والتي هي اقوى من قوة كولوم ولم يعد تأثير الاستطارة مرتبطا فقط مع قوة كولوم وان جسيم الفا البعيد عن النواة يمتلك طاقة حركية مقدارها (T_α) فقط ولكن عند اقترابه من نواة العنصر في التصادم الرأسي لاقرب مسافة ممكنة (D) قبل الشذوذ عن قانون رذرفورد للاستطارة فان جسيمة الفا ستتباطا نتيجة للتنافر الكولومي بينهما الى ان تصل الى نقطة تكون فيها اقرب مايمكن من النواة وعندما تتوقف عن الحركة تتحول الطاقة الحركية لجسيم الفا الى طاقة كامنة فقط وباهمال طاقة ارتداد النواة وبأستخدام قانون حفظ الطاقة يمكن الحصول عمليا على نصف قطر النواة من خلال تجربة الاستطارة لرذرفورد :



في التصادم الرأسي (تصادم جسيمة الفا مع جدار النواة) نلاحظ ان الجسيمة الاولى تنحرف مبتعدة عن النواة اما اذا زادت طاقة الفا فأنها سوف تقترب من جدار النواة والطاقة الكامنة (P.E) تساوي:

$$P.E = \frac{q_1 q_2}{r}$$

وعند التعويض عن (r = D) و(q_1=2e) هي شحنة جسيم الفا و(q_2=Ze) شحنة النواة المستطيرة نحصل على :

$$T_\alpha = P.E = \frac{(2e)(Ze)}{D}$$

$$T_\alpha = \frac{2eZe}{D} \quad \text{(in e.s.u)}$$

حيث ان ($e=4.80\times10^{-10}$esu) و(D) اصغر مسافة يصلها جسيم الفا , مما تقدم نستطيع إيجاد معادلة لقياس نصف قطر النواة وهي:

$$D = \frac{2Ze^2}{T_\alpha}$$

مثال: جسيم الفا طاقته 25MeV يسقط على نواة اليورانيوم جد اقرب مسافة يصلها الجسيم قبل ان تبدا تاثيرات القوة النووية ؟

الحل:

1MeV= 1.6×10^{-6} erg , Z = 92

$$D = \frac{2Ze^2}{T_\alpha} = \frac{2\times92(4.8\times10^{-10})^2}{25\times1.6\times10^{-6}} \approx 10^{-12}cm = 10F$$

$$1F = 10^{-13}cm$$

الا ان التجارب العملية اللاحقة وجدت ان نصف قطر النواة لاي عنصر يرتبط بالعلاقة التقريبية التالية مع العدد الكتلي (A) وهي : $R = R_O A^{1/3}$ ..... (1)

حيث (R_O) هو ثابت نصف القطر ويأخذ القيم (R_O=1.4F) لاستطارة الجسيمات النووية التي تتنافر مع النواة و(R_O=1.2F) لاستطارة الالكترونات التي تنجذب نحو النوى. **ان الاختلاف بين هاتين القيمتين يمكن تفسيره كما يلي :**

في حالة استطارة الالكترونات نعني قياس موقع الشحنات الموجبة للبروتونات في النواة وان تأثير الاستطارة ناتجا عن تنافر قوة كولوم فقط , اما عندما تكون الجسيمة المستخدمة للاستطارة جسيمة مادية فأننا نقوم بقياس حجم المنطقة التي تؤثر فيها القوة النووية والتي تمتد لمسافة اكبر من الوجود المادي للنواة وهذا يعطي النواة حجما اكبر من حجمها الطبيعي.

واذا فرضنا ان حجم البروتون يساوي حجم النيوترون وان النواة عبارة عن كرة صلدة تحتوي على (A) من الجسيمات الصلبة فأن حجم النواة ($V_{nucleus}$) يتناسب طرديا مع العدد الكتلي (A) أي إن :

$V_{nucleus} \propto A$

$4/3\ \pi R^3 \propto A \Rightarrow R \propto A^{1/3}$

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

Where $R_o \simeq 1.25\ F = 1.25\times10^{-13}cm$

$$V_{nucleus} = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi R_o^3 A = \frac{4}{3}\pi(1.25\times10^{-13})^3 A = 7.25\times10^{-39} A\ cm^3$$

وعليه لما كان قطر الذرة (2×10^{-8}cm) فأنه اكبر من نصف قطر النواة بمقدار (10^5) مرة , أي إن النواة تشغل حجما مقداره (10^{-15}) من حجم الذرة.

وتدل المعادلة (1) على ان نوى العناصر المختلفة ليست متساوية الحجوم وانما يزداد حجم النواة بزيادة عددها الكتلي A وهذا يعني ان المادة النووية غير قابلة للانضغاط (وهذه خاصية نابعة عن طبيعة القوة النووية فالقوة النووية قوى جذب اذا كانت المسافة بين اي نيوكليونين اكبر من نصف فيرمي والا فانها تتحول الى قوة تنافرية تعمل على تباعد النيوكليونين.

الكثافة النووية: (Nuclear Density)

من المعلوم ان كتلة النيوكليون (بروتون او نيوترون) اكبر من كتلة الالكترون (m_n=1837m_e) لذا فأن الكثافة النووية ($\rho_{nucleus}$) ستكون عالية.

1u = 1 a.m.u = $1.66 * 10^{-27}$ kg = 931 MeV

$M_{nucleus} = A * 1.66*10^{-27}$ kg

$$\rho_{nucleus} = \frac{Mnucleus}{Vnucleus} = \frac{A*1.66*10^{-27}}{\frac{4}{3}\pi R_0^3 A} = \frac{1.66*10^{-27}}{(3.14)(1.25*10^{-15})^3}\times\frac{3}{4} \cong 1.49*10^{18}\ kg/m^3$$

or $\rho_{nucleus} \cong 2.4 * 10^{14}$ gm/cm^3

وهذه الكثافة مساوية لكثافة الأرض اذا ضغطت الى قطر 200m

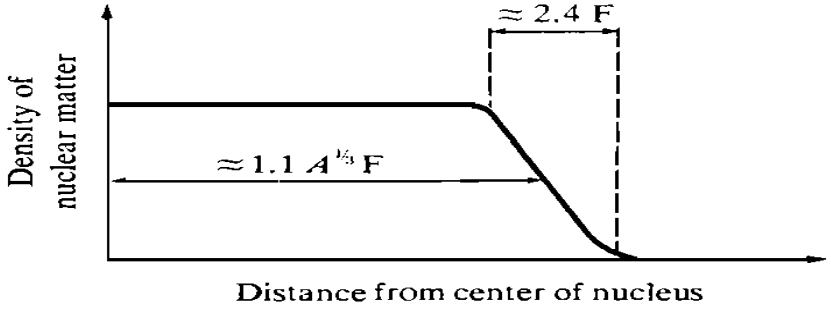
ان تجارب اكثر دقة لاستطارة الالكترونات قام بها (هوفستر وجماعته Hofstatter et al)عام 1953 اظهرت ان النواة ليست كروية الشكل وليس لتوزيع الكثافة النووية قطع حاد على بعد يساوي نصف قطر النواة اي ليس هناك قطع حاد على سطحها والمقصود بالكثافة النووية ρ هو عدد النيوكليونات لكل وحدة حجم من النواة كدالة للبعد عن مركز النواة فلو كانت النواة كروية لكانت الكثافة النووية ثابتة المقدار داخل النواة وتساوي صفر خارجها اي لكان لتوزيع الكثافة النووية قطع حاد على سطحها اي:

$$\rho = \rho_0 \text{ For } r \le R \quad , \rho = 0 \quad for\ r > R$$

.

ان علاقة اعم للتعبير عن كثافة المادة النووية $\rho(r)$ بدلالة نصف القطر (r) يمكن ان تعطى بالعلاقة التي اقترحها (Saxon-Wood) :

$$\rho(r) = \frac{\rho_0}{1+e^{(r-R)/a}} \quad \text{..... (Saxon-Wood formula)}$$



. الشكل اعلاه يبين ان شكل النواة ليس كرويا انما دائم التغيير وغير منتظم.

من الواضح ان نصف قطر النواة R ليس ثابتا لكل النوى انما يزداد بزيادة العدد الكتلي للنواة تبعا للعلاقة $R=1.07A^{\frac{1}{3}}$.. اما a والذي يسمى بالسمك النصفي فهو عامل له علاقة بما يسمى بالمنطقة السطحية surface region وتعرف بانها المنطقة المحصورة بيم سطحين كرويين الكثافة النووية على الاول تساوي $0.9\rho_0$ ونصف قطر $r_{0.9}$ والكثافة النووية على الثاني تساوي $0.1\rho_0$ ونصف قطر $r_{0.1}$ اي ان سمك المنطقة السطحي هو

$$r_{0.1} - r_{0.9} = a = 2.4f$$

مثال: ارسم $\frac{\rho}{\rho_0}$ للنوى ^{63}Cu , ^{16}O , ^{4}He ثم حدد المنطقة السطحية لكل حالة ثم قارن بين المنحنيات التي تحصل عليها؟ تلميح: خذ $R=1.07A^{\frac{1}{3}}$, r=0.1,0.2 , 0.3 , …..0,9

الزخم الزاوي للنواة: (Angular momentum of the nucleus)

ان الزخم الزاوي النووي يعتبر من الكميات المهمة في التركيب النووي والذي يؤثر على جميع الخواص النووية الحركية (Dynamic properties) ولقد وجد تجريبيا ان البروتونات والنيوترونات تمتلك زخما زاويا ذاتيا مقداره $(1/2\hbar)$ كما هي الحال بالنسبة للالكترونات كما انها تمتلك زخما زاويا مداريا (Orbital angular momentum) نتيجة حركتها داخل النواة ولما كان الزخم الزاوي هو مقدار اتجاهي لذا فأن الزخم الزاوي الكلي للنواة (Total angular momentum) هو عبارة عن المجموع ألاتجاهي للزخوم الزاوية الذاتية والمدارية للنيوكليونات بطريقة مناسبة .وان الزخم الزاوي للنواة يعين بدلالة العدد الكمي J وقد وجد عمليا ايضا ان النوى المعقدة تمتلك زخما زاويا يساوي $(I\hbar)$ حيث (I) عدد صحيح يشمل الصفر للنوى التي فيها (A) زوجية اي ان هنالك 2J+1 احتمالا لاتجاه الزخم الزاوي اي ان :

$I = 0\hbar , 1\hbar , 2\hbar , 3\hbar , ...$

ان قوانين مكانيك الكم تنص على ان ((الزخم الزاوي الكلي لمجموعة متعددة الاجسام مكونة من (P) من الجسيمات حول مركز الكتلة يساوي عدد صحيح مضروبا في $(\hbar)$ اذا كان (P) عددا زوجيا و(عدد صحيح + 1/2) مضروبا في $(\hbar)$ اذا كان (P) عددا فرديا)) . وكما يلي:

$I = \frac{1}{2}\hbar , \frac{3}{2}\hbar , \frac{5}{2}\hbar , ...$

وهذه القاعدة تنطبق ايضا على الالكترونات فلو اخذنا مثلا نواة الديتريوم (^2H)كما كان يعتقد سابقا انها مكونة من بروتونين والكترون واحد فأن ($I = \frac{1}{2}$ or $\frac{3}{2}$) ولكن اذا كانت مكونة من بروتون ونيوترون فأن (I = 0 or 1) وهذا مااثبتته التجارب العملية وبهذا الأسلوب نثبت بأن النوى لا يمكن ان تكون مبنية من البروتونات والالكترونات ولكنها تتكون من البروتونات والنيوترونات.

Example:

A =8 ⇒ I = nuclear spin quntum nomber , I = 0

Magnitude = $(I(I+1))^{1/2}\ \hbar = (0(0+1))^{1/2}\ \hbar = 0$

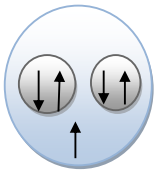
If spin down =- , spin up +

$I = \frac{1}{2}\hbar - \frac{1}{2}\hbar + \frac{1}{2}\hbar - \frac{1}{2}\hbar + \frac{1}{2}\hbar - \frac{1}{2}\hbar + \frac{1}{2}\hbar - \frac{1}{2}\hbar = 0$

$I = \frac{1}{2}\hbar + \frac{1}{2}\hbar + \frac{1}{2}\hbar + \frac{1}{2}\hbar + \frac{1}{2}\hbar - \frac{1}{2}\hbar + \frac{1}{2}\hbar - \frac{1}{2}\hbar = 2\hbar$

For A even : $I = 0,1\ \hbar, 2\ \hbar, 3\ \hbar,$-------

Ex. A = 5 , $I = \frac{1}{2}\hbar$



$I = \frac{1}{2}\hbar - \frac{1}{2}\hbar + \frac{1}{2}\hbar - \frac{1}{2}\hbar + \frac{1}{2}\hbar = \frac{1}{2}\hbar$

$I = \sqrt{l(l+1)}\ \hbar = \sqrt{\frac{1}{2}(\frac{1}{2}+1)}\ \hbar = \frac{\sqrt{3}}{2}\hbar$

لقد لوحظ ان النوى الزوجية-الزوجية يكون لها J=0 حيث تتجه النيوكليونات لازدواج زخومها الزاوية باتجاهات متعاكسة.

اما النوى الفردية- الزوجية او الزوجية –الفردية فيكون لها مضاعفات النصف لقيمة J لذلك فمن المعقول في اغلب الحالات ان نعتبر ان الزخم الزاوي في هذه النوى يعطى بدلالة النيوكليون الاخير غير المزدوج (Unpaired nucleon) .

الخواص الحركية للنوى: (Dynamic properties of nuclei)

كما في حالة الفيزياء الذرية فأن النوى يمكن تهيجها إلى حالات محددة من الطاقة كما ان الانتقال بين حالات الطاقة هذه يتم عن طريق انبعاث الاشعة النووية مثل الاشعة الكهرومغناطيسية (اشعة كاما) كما هو في عملية انبعاث الضوء من الذرات الا ان الاختلاف بين الحالتين هو ان المسافات التي تفصل بين طاقات الحالات الذرية هو بحدود (1eV) بينما تكون المسافات بين الحالات النووية هي بحدود (10^4—10^6ev). ان دراسة حالات الطاقة الذرية ساعد على تحديد المستويات الذرية للطاقة والذي ادى الى ظهور النماذج الذرية اما دراسة طيف اشعة كاما في النواة ادى الى تحديد مستويات الطاقة النووية والتي ادت بدورها الى ظهور النماذج النووية (Nuclear models) . ان النوى تتحول من نوع الى أخر اما تلقائيا او عن طريق القصف النووي (nuclear bombardment) وفي جميع الحالات يبقى العدد الكلي للنيوكليونات وقوانين حفظ الطاقة والكتلة والزخم الخطي والزاوي ثابتا.

الاستطارة الخلفية : Back scattering

عند سقوط حزمة من الالكترونات على صفيحة رقيقة فان قسما منها يرتد الى نفس الجهة التي اتت منها فيقال عنها قد استطارت خلفيا وتسمى الظاهرة بالاستطارة الخلفية .فعند مرور الالكترونات بالقرب من النواة ستتاثر بقوة جذب كولومية تتتجعلها تغير اتجاهها اما سرعتها فتجعلها تستمر بحركتها عائده الى جهة قدومها علما ان الالكترونات ليست جسيمات نووية ولا يمكنها اطلاقا اختراق النواة .

ملاحظة: لقد رسم جزء من مسار الالكترون مستقيما والجزء الاخر منحنيا (شكل-1) لتوضيح ظاهرة الاستطارة الخلفية والا فان مسار الالكترون في اية مادة هو بالحقيقة خط متكسر zig zag فالالكترون جسيمة خفيفة وسريعة يتنافر مع الالكترون القريب منه بقوة اكبر من قوة تنافره مع الكترون بعيد ويتجاذب مع النواة القريبة منه بقوة اكبر من قوة تجاذبه مع نواة بعيده عنه ولكونه خفيفا فهو الذي يقترب نحو هذه النواة او تلك وليس العكس ولهذا يكون مساره متكسرا.

مصطلحات نووية: *توجد في الفيزياء النووية بعض المصطلحات منها:*

1- النويدة (Nuclide) : عنصر نووي معين يحتوي على (Z) من البروتونات و(N) من النيوترونات والرمز الاكثر شيوعا لتمثيل النويدة هو (^A_ZX) .

2- النظائر (Isotopes) : عناصر نووية متساوية في العدد الذري (Z) وتختلف في عدد النيوترونات (N) وتبعا لذلك تختلف عن بعضها بالعدد الكتلي (A) مثل :

1- نظائر الصوديوم $^{22}_{11}Na_{11}$, $^{23}_{11}Na_{12}$, $^{24}_{11}Na_{13}$

2- نظائر الهيدروجين $^1_1H_o$ $^2_1H_1$ $^3_1H_2$

Hydrogen 1 proton	Hydrogen 2 deuterium	Hydrogen 3 tritium

للنظائر نفس الصفات الكيمياوية لان لها نفس التركيب الالكتروني وبسبب اختلاف تركيبها النووي نجد ان لها صفات فيزياوية مختلفة مثل اختلاف طاقة الربط النووية ومعدلها وبعض النظائر مشع والبعض الاخر مستقر :

e.g :$^{14}_8O_6$, $^{15}_8O_7$, $^{16}_8O_8$, $^{17}_8O_9$, $^{18}_8O_{10}$, $^{19}_8O_{11}$

e.g : $^{14}_8O_6$ (B^+) , $^{15}_8O_7$ (B^+) , $^{19}_8O_{11}$ (B^-)

3- ***الايزوتونات (Isotones) :*** عناصر نووية متساوية في عدد النيوترونات (N) وتختلف في العدد الذري (Z) مثل:

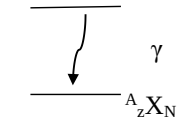
$^4_2He_2$ $^5_3Li_2$ $^7_3Li_4$ $^8_4Be_4$ $^8_5B_4$ $^{10}_6C_4$

4- ***الايزوبارات (Isobars) :*** عناصر نووية متساوية في العدد الكتلي (A) وتختلف في عدد النيوترونات (N) والعدد الذري (Z) مثل :

$^5_2He_3$ $^5_3Li_2$

5- ***الايزوميير (Isomer) :*** عناصر نووية في حالة متهيجة وذات عمر طويل نسبيا يمكن قياسه ويشار لها بالرمز :

$^A_zX^*_N \rightarrow {}^A_zX_N + \gamma$ $^A_zX^*_N$



النواة تبقى نفسها عندما تنتقل من المستوى *المتهيج* الى المستوى المستقر فقط في انبعاث كاما.

6- ***النيوكليون (Nucleon) :*** هو اسم يطلق على البروتون او النيوترون .

7- ***الميزونات (Mesons) :*** جسيمات متوسطة الكتلة كتلتها تقع بين كتلة الالكترون (m_e) وكتلة البروتون (m_p) ومن انواعها هي ميزونات (π) وتعادل ($270m_e$) تقريبا والتي تلعب دورا مهما في القوى النووية وكذلك ميزونات (μ) وتعادل ($207m_e$) تقريبا والتي هي إحدى مكونات الاشعة الكونية , وقد افترض يوكاوا عام 1935 وجود الميزونات باعتبارها المسؤولة عن التجاذب النووي بين البروتون والنيوترون او بين نيوترون – نيوترون او بين بروتون – بروترون مثلما يعتبر الفوتون مسؤولا عن التجاذب او التنافر الكولومي بين الشحنات الكهربائية وقد تم الكشف عن العديد منها في المختبرات ومنها البايونات (pions) (π^+,π^0,π^-) والكايونات(Kaions) (k^+,k^0,k^-) وغيرها.

8- ***البوزترون (Positron)*** :هو ضديد الالكترون وله نفس خواص الالكترون ولكن شحنته موجبة

9- ***الفوتون (Photon) :*** هو وحدة الكم في الاشعاع الكهرومغناطيسي ويظهر على شكل ضوء او اشعة سينية او اشعة كاما وله زخم خطي كهرومغناطيسي معين حيث لايوجد فوتون ساكن (كيف نثبت ذلك ؟) وترتبط طاقة الفوتون (E_γ) بكتلته (m_γ) كجسيمة وفقا لمعادلة تكافؤ الكتلة والطاقة لانشتاين : ($E_\gamma = m_\gamma c^2$) كما وترتبط طاقته (E_γ) بتردد الاشعة الكهرومغناطيسية (f) وفقا لفرضية بلانك ($E_\gamma = hf$) وعليه فأن :

$E_\gamma = m_\gamma c^2 = hf = hc/\lambda$

ويرتبط زخم الفوتون (P_γ) بكتلته كجسيمة ($P_\gamma = m_\gamma c$) كما ويرتبط بطول موجة الاشعة الكهرومغناطيسية وفقا لفرضية كومبتن : $P_\gamma = h/\lambda = hf/c$

النوى المرآة : (Mirror Nuclei)

عندما يكون لنواتين نفس العدد من النيوكليونات ويكون عدد البروتونات في احدهما مساويا لعدد النيوترونات في الاخرى فأن هاتين النواتين تكونان ما يسمى بزوج المرآة (mirror pair) مثل

$^{13}_6C$—$^{13}_7N$, $^{11}_5B$— $^{11}_6C$, $^9_4Be - ^9_5B$, $^7_3Li - ^7_4Be$

وقد وجد عمليا ان مستويات الطاقة للنواتين في كل زوج مرآة تكون متشابهة تماما وان هذا التشابه بين رسوم مستويات الطاقة في النوى المرآتية هو من الشواهد التي تدعم حقيقة ان القوى النووية لا تعتمد على الشحنة .

التماثل والتناظر : (Parity and Symmetry)

ان اصطلاح التماثل (parity) هو من الاصطلاحات المهمة جدا في الفيزياء الذرية والنووية ولكن ليس ما يشابهه في الفيزياء الكلاسيكية , ان التماثل هو خاصية لدالة الموجة التي تصف المجموعة الكمية . ان دالة الموجة التي تمثل جسيما واحدا يقال ان لها تماثلا موجبا (زوجيا even) اذا كانت إشارتها لاتتغير عند انعكاسها على نقطة الاصل ويقال عنها بان لها تماثلا سالبا (فرديا odd) اذا كانت إشارتها تتغير ولهذا فأن :

$\Psi(x,y,z) = \psi(-x,-y.-z)$ for positive parity

$\psi(x,y,z) = -\psi(-x,-y.-z)$ for negative parity

أن دالة موجة عدد من الجسيمات يمكن كتابتها على انها حاصل ضرب دوال موجات الجسيمات المنفصلة او مجموع حواصل الضرب هذه , ان تماثل المجموعة ككل في هذه الحالة هو حاصل ضرب تماثلات دوال موجات الجسيمات المنفردة ان كثافة الشحنة للنوى سوف تكون متناظرة دائما وذلك لان $|\psi|^2$ هي متناظرة دائما بغض النظر عن كون التماثل موجبا او سالبا . ان الطاقة الكلية والزخم الزاوي في العمليات النووية وكما هي الحالة في الفيزياء الكلاسيكية هي كميات محفوظة , اضافة الى ذلك فأن التماثل هو محفوظ عادة. ان تماثل حالة نووية ما يعرف في كثير من الاحيان بالرمز (+) او (-) على الزخم الزاوي (J) .

وهنالك مصطلحا أخر في الفيزياء الذرية والنووية هو التناظر (Symmetry) , ان حل معادلة شرودنكر لجسمين متطابقين وغير متفاعلين متحركين خلال نفس الجهد هو :

$\Psi_{nk} = \psi_n(1)\ \psi_k(2)$

حيث (ψ_n) و(ψ_k) هما حلان لنفس دالة موجة جسيم واحد والارقام (1) و(2) تمثل احداثيات الجسمين 2,1 ولكن دالة الموجة (ψ_{nk}) هي ليست دالة مقبولة لجسمين متطابقين لانها تعني ان من الممكن تأشير الجسيمات وملاحظة اي منها يكون في الحالة (n) وايهما في الحالة (k) وللتغلب على هذة الصعوبة يمكن كتابة دالة الموجة بالشكل التالي :

$\Psi_s = 1/\sqrt{2}[\psi_n(1)\ \psi_k(2) + \psi_n(2)\ \psi_k(1)]$

$\Psi_A = 1/\sqrt{2}[\psi_n(1)\ \psi_k(2) - \psi_n(2)\ \psi_k(1)]$

اما كثافة الاحتمالية فأنها تكون متناظرة عندما تكون الاشارات 1 و2 قابلة للتبادل في كلتا المعادلتين

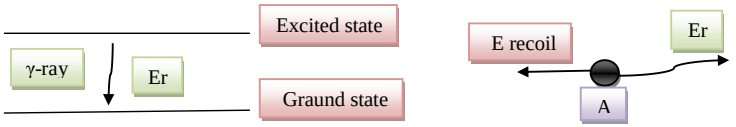
مسائل الفصل الاول

س1 – a/ نواة عددها الكتلي هو A انتقلت من الحالة المتهيجة الى الحالة الارضية باطلاق اشعة كاما فما هو الفرق بين طاقة التهيج E وطاقة كاما Eγ والناتج عن ارتداد النواة ؟ (زخم الفوتون $p_r = \frac{E_r}{c}$).

b/ اذا تم امتصاص اشعة كاما المذكورة اعلاه من قبل نواة ثانية عددها الكتلي A, أحسب طاقة التهيج للنواة الثانية والناتجة عن امتصاص هذه الاشعة .

c/ طبق النتائج لحالة النواة ^{57}Fe التي تبعث اشعة كاما طاقتها 14 KeV .

الحل:



(a):- $P_r = \frac{E_r}{c}$

(P_r) زخم الفوتون = الزخم الناتج عن ارتداد النواة (P_A)

$P_A = \frac{E_\gamma}{c} = P_{photon}$

$K.E = \frac{p^2}{2M_A} = \frac{E_r^2}{c^2}/2M_A = \frac{E_r^2}{2M_A c^2}$

$E = E_\gamma + K.E$

$E_r = E - \frac{E_r^2}{2M_A c^2}$

(b):- $E_{ex} = E_r + \frac{E_r^2}{2M_A c^2}$

(C):- For ^{57}Fe with $E_r = 14KeV$

K.E *due to recoil* $= \frac{(14\times10^3)^2}{2M_A c^2} = \frac{(14\times10^3)^2}{2\times57\times939.268} =$ ( ) MeV

س2/ ماهي النواة (كتلتها) التي قطرها يساوي نصف قطر نواة (^{236}U) ؟ او $^{232}_{90}Th$ ؟

الحل:

(**نصف قطر اليورانيوم**)$R_U = R_o A_U^{1/3}$

(**القطر**)$2R_? = R_o A_U^{1/3}$

وبالقسمة على 2 نحصل على:

$R_? = \frac{R_o A_u^{\frac{1}{3}}}{2}$

$R_o A_?^{1/3} = \frac{R_o A_u^{\frac{1}{3}}}{2} \Rightarrow A_?^{1/3} = (236)^{1/3}/2$

$A_? = 236/2^3 = 236/8 = 29.5 = (?)$

Also $R_{Th} = R_o A_{Th}^{1/3}$

$2R_? = R_oA_{Th}^{1/3}$ → $A_? = 232/2^3 = 232/8 = 29$

∴ النواة هي نواة السيلكون $^{29}_{14}Si$

س3/: اوجد شحنة وكثافة نواة الذهب $^{197}_{73}Au$ ؟

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{AM_P}{V} = \frac{AM_P}{\frac{4}{3}\pi(R_0^3 A)} = \frac{M_P}{\frac{4}{3}\pi(R_0)^3} = \frac{1.672\times10^{-27}}{\frac{4}{3}\times3.14(1.2\times10^{-15})^3} \simeq 2.35\times10^{17}\text{kgm/m}^3$$

س4 - احسب الكثافة النووية بوحدات gm/cm^3 -1 , nucleon /F^3 – 2 , استعمل الكمية Ro=1.2F لحساب نصف قطر النواة.

Sol.:-

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{AM_P}{V} = \frac{AM_P}{\frac{4}{3}\pi(R_0^3 A)} = \frac{M_P}{\frac{4}{3}\pi(R_0^3)} = \frac{1.672\times10^{-24}}{\frac{4}{3}\times3.14(1.2\times10^{-13})^3} \simeq 2.9\times10^{14}\ \text{gm/cm}^3$$

$$\rho = \frac{A}{\frac{4}{3}\pi(R_0 A^{\frac{1}{3}})^3} = \frac{A}{\frac{4}{3}(3.14)(1.2)^3 A} = 0.135\ \text{neucleon/F}^3$$

س5/ افترض ان كثافة النيوكليونات (ρ) في النواة تتغير بتغير البعد عن المركز للنواة (r) كما هو موضح بالشكل التالي . ماهو الجزء من النيوكليونات الذي يقع في المنطقة السطحية للنواة ^{27}Al اذا كانت (a =3.0F , C .=1.1A$^{1/3}$ F , ρ_o=0.17F^{-3})

Sol.

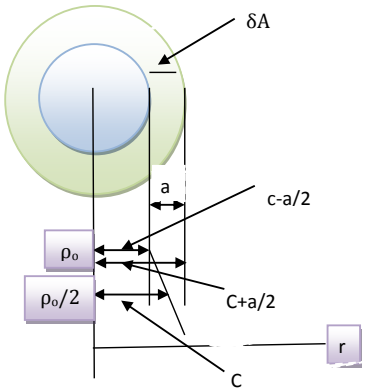
ان جزء النيوكليونات في المنطقة السطحية يساوي δA/A

$$\frac{\delta A}{A} = \frac{\frac{\rho_0}{2}[\frac{4}{3}\pi(C+\frac{a}{2})^3 - \frac{4}{3}\pi(C-\frac{a}{2})^3]}{A}$$

$$= \frac{4\pi\rho_0}{6A}[(C+\frac{a}{2})^3 - (C-\frac{a}{2})^3]$$

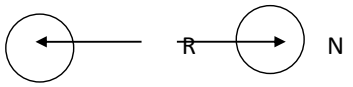
For ^{27}Al;

$$\text{Fraction} = \frac{4\times3.14\times0.17}{6\times27}[(3.3+1.5)^3-(3.3-1.5)^3]$$



س6/ ا- جسيم الفا يمتلك طاقة حركية مقدارها T_α اصطدم راسيا بنواة عددها الذري Z وعددها الكتلي A احسب اقصر مسافة يقترب بها جسيم الفا من النواة اخذا بنظر الاعتبار ارتداد النواة ؟

ج/ ان افتراض سكون النواة وعدم حركتها عند توقف جسيمة الفا يتضمن خرقا لقانون حفظ الزخم الخطي ولكي لا ينحرف هذا القانون يجب اخذ ارتداد النواة بنظر الاعتبار حيث عند توقف جسيمة الفا فيجب ان تمتلك النواة زخما مساويا لزخم جسيمة الفا قبل التصادم وعليه فان الطاقة الحركية لجسيمة الفا T_α تنقسم الى طاقة حركية للنواة T_N وطاقة كامنة كهربائية E_P فلايجاد مسافة اقصر اقتراب لجسيمة الفا من نواة مرتدة هو :



من قانون حفظ الزخم الخطي نحصل على :

$$P_i = P_f \rightarrow P_\alpha = P_n \rightarrow P_\alpha^2 = P_N^2$$

$$T = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow T_\alpha = \frac{P_\alpha^2}{2m_\alpha} \quad , \quad T_N = \frac{P_N^2}{2M_N} = \frac{P_\alpha^2}{2M_N} = \frac{m_\alpha P_\alpha^2}{2m_\alpha M_N}$$

$$T_N = \frac{m_\alpha T_\alpha}{M_N} \quad \text{..... (1)}$$

وبتطبيق قانون حفظ الطاقة نحصل :

$$E_i = E_f \rightarrow T_\alpha + P.E = T_N + P.E \rightarrow T_\alpha = T_N + P.E$$

From eq. (1)

$$T_\alpha = \frac{m_\alpha T_\alpha}{M_N} + \frac{2kze^2}{R_r} \rightarrow \frac{2kze^2}{R} = T_\alpha - \frac{m_\alpha T_\alpha}{M_N}$$

$$\therefore R = \frac{2kze^2 M_N}{T_\alpha(M_N - m_\alpha)}$$

س 7\ واجب بيتي: (Home work)

1- احسب الزخم الزاوي الكلي للنوى :

1) A=16 , A = 19 2) N = Z =7 , N=9,Z=8

2 - احسب نصف قطر النوى التالية: ^{64}Cu ,^{27}Al

3- عدد طرق قياس حجم النواة؟

. س/ماهي النواة المستقرة التي نصف قطرها يعادل ثلث نصف قطر نواة $^{189}_{73}Os$ ؟ وماهو حجم النواة الجديدة ؟

الفصل الثاني

التركيب النووي (Nuclear structue)

ان النواة تشمل على مجموعتين من الجسيمات المتشابهة هي البروتونات والنيوترونات وان كل واحدة من هاتين المجموعتين موزعة بصورة منفصلة عن الاخرى على مستويات طاقة محددة حسب قاعدة الانفراد لباولي , وان لكل نيوكليون زخما زاويا ذاتيا يسمى(بالبرم الذاتي) (S) وتوجد هنالك علاقة بين الحركة المدارية (L) وبين البرم الذاتي (S) لكل نيوكليون بحيث ان الزخم الزاوي الكلي للنيوكليون هو $J = L + S$ وان القوة النووية بين اي نيوكلونين تعتمد بشدة على الاتجاهات النسبية لبرميهما.

طاقة الربط النووية : (Nuclear Binding energy)

ان الفرق بين الكتلة الحقيقية للنواة وبين مجموع كتل مكوناتها من النيوكليونات كل على انفراد يسمى بطاقة الربط النووية (وهي مقدرة بوحدة الكتلة الذرية(a.m.u) او **هي مقدار الشغل اللازم لتحلل النواة (A,Z) الى النيوكليونات وبالعكس فهي الطاقة التي تتحرر عند دمج النيوكليونات لتكوين نواة متماسكة** اي:

$$M(A,Z) = ZM_p + NM_n - B.E$$

لذلك يجب تحويل الطاقة الى كتلة كي نطرح كتلة من كتلة

$E = Mc^2$ (علاقة انشتاين)

$$M(A,Z) = ZM_p + NM_n - B.E/c^2$$

$$B.E = [(ZM_p + NM_n) - M(A,Z)]c^2$$

ففي النيوكليونات تسمى طاقة الربط باسم (طاقة الارتباط الكلية Total binding energy) وتكتب:

$$\boldsymbol{B_{tot}(A,Z) = [ZM_p + NM_n - M(A,Z)]c^2}$$

من هذه العلاقة نرى ان كتلة النواة الكلية اقل من كتل مكونات النواة بمقدار طاقة الربط.وتعزى طاقة الربط النووية هذه الى ان مجموع كتل النيوكليونات وهي منفصلة عن بعضها اكبر من كتلة النواة الناتجة من تجمعها **وفرق الكتلة هذا قد تحول الى طاقة مبعثرة مما سبب تماسك النيوكليونات مع بعضها** والحاجة الى تجهيز النواة بالطاقة لبعثرة او فصل نيوكليوناتها .

وتقاس طاقة الربط بوحدة الجول وهذه الوحدة كبيرة جدا بالنسبة لعالم الذرة والنواة لان الكتل الذرية صغيرة جدا لذا فلا يعبر عنها بالكغم او غم وانما يعبر عنها بوحدة ملائمة وهي وحده الكتلة الذرية (u) وهي:

$$u = \frac{1}{12} \times \text{mass of } {}^{12}C \text{ atom} = \frac{1}{12}(12\text{kg/kmole}/N_A)$$

$$u = \frac{1}{12}\frac{12\text{kg/kmole}}{6.02*10^{26}\text{/kmole}} = 1.66\times10^{-27}\text{ kg}$$

$$\text{or } 1u = 1.66\times10^{-27}\text{kg} = 931.5\text{ MeV}$$

طاقة الفصل النووية (Nuclear separation energy (S)):

لايقتصر التأثير المزدوج على استقرارية ووفرة النوى وانما يتعداه الى التأثير على طاقة فصل الجسيمة النووية (البروتون p , النيوترون n , الديترون $^2_1H_1^+$, التريتون $^{3-}_1H_2^+$ وجسيمة α ($^4_2He_2^+$)) **وتعرف بأنها الشغل اللازم (الطاقة اللازمة) لفصل جسيمة او مجموعة جسيمات من نواة او اكثر** او **تعرف بأنها مقدار الشغل اللازم لفصل بروتون او نيوترون او ديترون او جسيم الفا عن النواة** وبالعكس فأن هذا المقدار من الطاقة سوف يتحرر عندما تقوم النواة بأقتناص احد هذه الجسيمات ويعبر عن طاقة فصل النيوترون (S_n) بالعلاقة:

$$S_n = [M(A-1,Z) + M_n - M(A,Z)]c^2 \quad \text{----------(1)}$$

حيث $M(A-1,Z)$ كتلة النواة الجديدة و M_n كتلة الجسم المفصول و $M(A,Z)$ كتلة النواة الاصلية

وان طاقة الفصل يمكن التعبير عنها بدلالة طاقة الربط الكلية او بدلالة الكتل فطاقة فصل النيوترون (S_n) تكتب بدلالة طاقة الربط بالصيغة:

$$S_n = B_{tot}(A,Z) - B_{tot}(A-1,Z) \quad \text{--------(2)}$$

$$S_{2n} = [M(A-2,Z) + 2Mn - M(A,Z)c^2 \quad \text{---------(3)}$$

$$\textbf{Or } S_{2n} = B_{tot}(A,Z) - B_{tot}(A-2,Z) \quad \text{---------(4)}$$

وطاقة الفصل للبروتون S_p هي:

$$S_p = [M(A-1,Z-1) + M_p - M(A,Z)]c^2 \quad \text{---------(5)}$$

$$S_p = B_{tot}(A,Z) - B_{tot}(A-1,Z-1) \quad \text{----------(6)}$$

وطاقة الفصل لجسيم الفا S_α هي:

$$S_\alpha = [M(A-4,Z-2) + M_\alpha - M(A,Z)]c^2 \quad \text{-------(7)}$$

$$S_\alpha = B_{tot}(A,Z) - B_{tot}(A-4,Z-2) - B(4,2) \quad \text{----(8)}$$

حيث $B(4,2)$ طاقة ربط جسيم الفا

ان كل زوج من هذه المعادلات يمثل معادلتين متكافئتين على سبيل المثال لبرهنة المعادلة (1) و(2) يكون كالاتي : لدينا من التعريف

$$B(A,Z) = [ZM_p + NM_n - M(A,Z)]c^2 \text{ -------(a)} \quad \text{also:}$$

$$B(A-1,Z) = [ZM_p + (N-1)M_n - M(A-1,Z)]c^2 \text{ --------(b)}$$

من هاتين المعادلتين نحصل على:

$$M(A,Z)c^2 = (ZM_p + NM_n)c^2 - B(A,Z)$$

$$M(A-1,Z)c^2 = [ZM_p + (N-1)M_n]c^2 - B(A-1,Z)$$

نعوض هاتين المعادلتين بالمعادلة (1) وبعد فك القوس نحصل على:

$$S_n = [ZM_p + (N-1)M_n]c^2 - B(A-1,Z) + M_n c^2 - [(ZM_p + NM_n)c^2 - B(A,Z)]$$

$$S_n = NM_nc^2 - M_nc^2 - B(A-1,Z) + M_nc^2 - NM_nc^2 + B(A,Z)$$

$$\boxed{S_n = B(A,Z) - B(A-1,Z)}$$

كما يمكن الحصول على المعادلة (1) بتعويض المعادلتين (a) و(b) بالمعادلة (2)

مثال: احسب طاقة الربط في الديترون اذا علمت :

(M_d =2.0141 amu , M_p =1.007825u , M_n=1.008665amu).

Sol.: $B_{tot}(A,Z) = [ZM_p + NM_n - M(A,Z)]c^2$

$B(2,1) = [1*1.007825 + 1*1.008665 - 2.0141]\ 931.48 = 2.23$ MeV

وبقسمة هذه القيمة على عدد نيوكليونات النواة نجد ان طاقة الترابط للنيوكليون الواحد في نواة الديتريوم هي 1.165MeV وتعتبر قيمة طاقة الترابط للنيوكليون الواحد بمثابة مقياس لمدى تماسك واستقرار النواة فكلما زادت هذه القيمة كانت النواة متماسكة ومستقرة وبالعكس كانت النواة اكثر تفككا وغير مستقرة.

معدل طاقة ارتباط النيوكليون:

هي معدل ربط اي من النيوكليونات داخل النواة سواء كانت بروتونات ام نيوترونات اوتعرف ايضا بأنها (معدل الطاقة اللازمة لتحرير احد نيوكليونات النواة).

ان طاقة الربط الكلية B_{tot} يمكن حسابها عمليا من القياسات الدقيقة للكتلة M بواسطة مطياف الكتلة (Mass spectrometer) او من حساب طاقة الفصل S من دراسة التفاعلات النووية ,من الخواص العامة لمقدار معدل طاقة الربط B_{ave} ان هناك مسألة مهمة وهي عدم اعتمادها تقريبا على العدد الكتلي ماعدا في النوى الخفيفة . واذا فرضنا ان طاقة الربط بين كل نيوكليون وآخر هي مقدار ثابت تقريبا هو C فأن النواة التي تحتوي على A من النيوكليونات سوف تحتوي على (A(A-1)/2) من الازواج المتفاعلة اي ان :

$$B_{tot}(A,Z) \simeq \frac{1}{2} CA(A-1)$$

$$B_{ave} = \frac{B_{tot}(A,Z)}{A} = \frac{1}{2} C(A-1)$$

من هذه النتيجة نلاحظ ان معدل طاقة الترابط لكل نيوكليون B_{ave} تتناسب طرديا مع العدد الكتلي A ولكن الدراسات العملية لا تؤيد ذلك بحيث ان B_{ave} ثابتة تقريبا ماعدا في النوى الخفيفة جدا *وتعلل هذه الظاهرة بأن القوى النووية قابلة للاشباع كما في الاواصر الكيمياوية وان تأثيرها يكون على النيوكليونات المتجاورة* ويتم الاشباع تقريبا عند اربعة نيوكليونات فأكثر ولما كانت القوة النووية قابلة للاشعاع وان تفاعل النيوكليونات يكون مقصورا على النيوكليونات المجاورة فأن القوة النووية قصيرة المدى (Short range) اذن يكون تأثيرها أقصر من نصف قطر اي نواة بأستثناء النوى الخفيفة وهو بحدود(2F)وهذا ما حصلنا عليه من معرفة طاقة ارتباط الديترون.

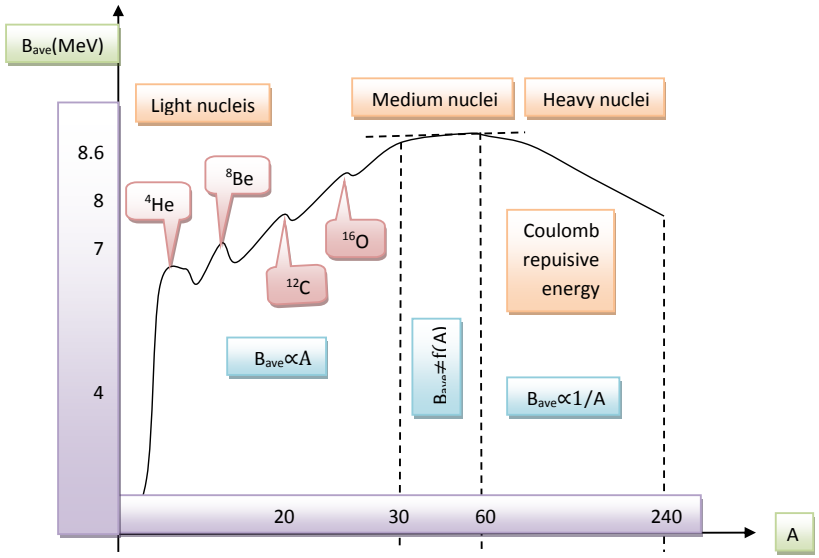
الاشباع: يعني الاشباع ان طاقة الارتباط او التآصر بين نيوكليون وباقي النيوكليونات تصل الى حد ثابت عندما يصل العدد الكلي للنيوكليونات المجمعة الى حد معين ,

ان النظريات الحديثة تعزو عملية الاشباع الى تأثيرين هما:

الاول: هو الاثبات العملي: ان القوة بين نيوكلونين تصبح ذات طبيعة تنافرية شديدة (repulsive) عند مسافة في حدود $\frac{1}{2}$F حيث يعبر عن ذلك بالقول ان للنيوكليونات قلبا صلبا (hard Core).

الثاني: قاعدة الانفراد لباولي التي لاتسمح لنيوكليونين من نفس النوع ان يحتلا حالات لها نفس الاعداد الكمية . نعلم دائما ان ارتباط نيوكليون داخل النواة هو اكبر بكثير من ارتباط نيوكليون على سطح النواة. وعند رسم معدل طاقة الارتباط B_{ave} كدالة للعدد الكتلي A للنوى:

$^{16}_{8}O_8$, $^{12}_{6}C_6$, $^{10}_{4}B_6$, $^{9}_{4}B_5$, ^{8}Be , $^{4}_{2}He_2$ سنحصل على المنحني التالي:



من الشكل البياني نلاحظ مايلي:

1- ان معدل طاقة الترابط لكل نيوكلونين يتناسب طرديا مع العدد الكتلي A في النوى الخفيفة جدا

2- عندما يكون العدد الكتلي A≥30 فأن B_{ave} ستبقى ثابتة تقريبا اي لاتعتمد على A في الانوية المتوسطة .

3- هنالك قمم حادة على المنحني وان للمقدار B_{ave} قيمة عظمى عندما (A=4,8,12,16) وقمم ذات قيمة دنيا عندما تكون A فردية. وان سبب ظهور القمم الحادة على المنحني لان من خواص القوة النووية هي اعتمادها على الزخم البرمي والذي يسمى بتأثير الازدواج ,أي ان كل من النيوكليونات المتشابهة (P,P) او (n,n) يتجاذبان بقوة كبيرة عندما يكون زخم كل منهما اعظم ما يمكن ومساوي ومعاكس بالاتجاه الاخر.

4- ان اعظم قيمة للمقدار B_{ave} هي A=60 وبعدها تبدأ قيمتها بالنقصان تدريجيا ويمكن تفسير هذا النقصان التدريجي الى كونه ناتج عن التنافر الكولومي بين البروتونات الذي يزداد تأثيره بزيادة العدد الذري Z الناتجة من زيادة العدد الكتلي A

مثال: أفرض ان النواة تحتوي على عدد من البروتونات والنيوترونات فما هو تأثير التنافر الشحني Coulomb force بين البروتونات على القوة النووية علما ان $e=4.8*10^{-10}$ esu $r=3*10^{-13}$cm ؟

الحل: ان مقدار قوة التنافر بين بروتونين تتناسب مع $\frac{e^2}{r}$

$$E_c = \frac{e^2}{r} = \frac{(4.8\times10^{-10})^2}{3\times10^{-13}\times1.6\times10^{-6}} \approx 0.5 \text{ MeV}$$

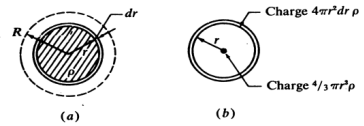
وهذا يعني ان تأثير قوة التنافر بين بروتونين قليلا اذا ما قورن مع القوة النووية بينهما والتي تقارب 8MeV ولكن هذا التأثير يزداد مع زيادة العدد الكتلي (في النواة الثقيلة) نتيجة للاشباع الذي يحصل للقوة النووية بينما لايحصل ذلك مع القوة الناتجة من التنافر الشحني فهي تساوي $\frac{3}{5}\frac{Z(Z-1)e^2}{R}$ حيث يمكن اشتقاق هذه العلاقة :

ان قوة كولوم تعمل بين ازواج البروتونات الا انه يمكن اعتبار النواة كرة متجانسة الشحنة وشحنتها هي Ze وكثافة الشحنة فيها هي ρ وتساوي:

$$\rho = \frac{Ze}{\frac{4}{3}\pi r^3}$$

فالشحنة داخل الكرة التي نصف قطرها r هي:

$$q = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$$



وبأعتبار ان الشحنة الاصلية للكرة $(4/3)\pi r^3\rho$ متمركزة في مركز الكرة , والشحنة في القشرة التي سمكها dr ونصف قطرها r هي:

$$dq = 4\pi r^2 \rho\, dr$$

واذا فرضنا ان الشحنة q موجودة في الكرة التي نصف قطرها r واريد اضافة شحنة dq في القشرة الكروية فأن الجهد الكهربائي للنواة (طاقة كولوم) هو:

$$dV_c = \frac{Q}{r} = \frac{q\,dq}{r} = \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 \rho(4\pi r^2\,\rho\,dr)}{r}$$

وبالتكامل خلال حجم الكرة الكلي نحصل على:

$$V_c = \int_0^R \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 \rho(4\pi r^2\,\rho\,dr)}{r} = \int_0^R \frac{16}{3}\pi^2 r^4 \rho^2 dr$$

$$V_c = \frac{16}{15}\pi^2\rho^2 R^5 = \frac{16}{15}\pi^2\left(\frac{Ze}{\frac{4}{3}\pi R^3}\right)^2 R^5 = \frac{3}{5}\frac{Z^2e^2}{R}$$

وبهذا يكون قد حسبنا تأثير الشحنة الكلية يضمنها شحنة كل بروتون على نفسه وبأختزال هذا التأثير نحصل على:

$$V_c = \frac{3}{5}Z(Z-1)\left(\frac{e^2}{R}\right)$$

ويمكن التعبير عن كتل النوى بكميات أخرى مثل الزيادة في الكتلة(Δ)Mass excess وتعرف بانها الفرق بين كتلة النواة والعدد الكتلي ,اي Mass excess (Δ) = M – A

Ex.1:lit M = 4.0026u ,A = 4

Mass excess = M – A = 4.0026u – 4 = 0.0026u

Ex.2:- ^{40}Ca, Mass excess = - 0.003

M = A + Mass excess =40 – 0.003= 39.997u

نظاميات طاقة الفصل (Separation energy) :

ان النظاميات المثالية لطاقات فصل النيوترون S_n كدالة لعدد النيوترونات والمبينة في الشكل ادناه نجد انه (عند قيمة معينة من العدد الذري Z لنواة تكون طاقة الفصل S_n اكبر في النوى التي تكون فيها N زوجية مما عليه في النوى التي تكون فيها N فردية) , وان طاقة الفصل تقل بازدياد عدد النيوترونات وكذلك لقيمة معينة لعدد النيوترونات N فان S_p تكون اكبر في النوى التي تكون فيها Z زوجية مما هي عليه في النوى ذات Z الفردية ومثل هذه الملاحظات شوهدت وشخصت عمليا بالنسبة لطاقة فصل البروتون S_p.

ان هذا ناتج عن احدى خواص القوى النووية التي ينتج عنها ارتباط اضافي بين كل زوج من النيوكليونات المتشابهة (n,n)(p,p) الموجودة في الحالة نفسها والتي يكون لها زخوم زاوية كلية تعمل من اتجاهين متعاكسين ويسمى بتأثير الازدواج (pairing effect)وهذا هو ايضا السبب في الاستقرار العالي لتركيب جسيمات الفا

ان الفرق S_n (A,Z,evenN) –S_n (A-1,Z,N-1) يسمى طاقة ازدواج النيوترون Neutron pairing energy وتتراوح قيمتها بين (2-4MeV) مع زيادة A وتظهر قيم مشابه لذلك بالنسبة للبروتونات

ان تأثير الازدواج يؤدي الى ان تكون النوى الزوجية – الزوجية (even- even) اكثر استقرارا ووفرة من النوى الزوجية الفردية والنوى الفردية – الزوجية وهذه بدورها اكثر استقرارا ووفرة من النوى الفردية – الفردية وهذا يتضح ايضا من ملاحظة نظاميات الوفرة الطبيعية للنوى المستقرة

اما في النوى الثقيلة فأن الاستقراريشذ عن ذلك فنلاحظ انها تميل لان يكون عدد النيوترونات فيها اكبر من عدد البروتونات بسبب زيادة قوة كولوم ويمكننا ان نستنتج من ذلك انه بزيادة عدد النيوترونات تؤدي الى زيادة القوة النووية لكي تكافئ زيادة قوة كولوم التي تزداد بزيادة البروتونات.

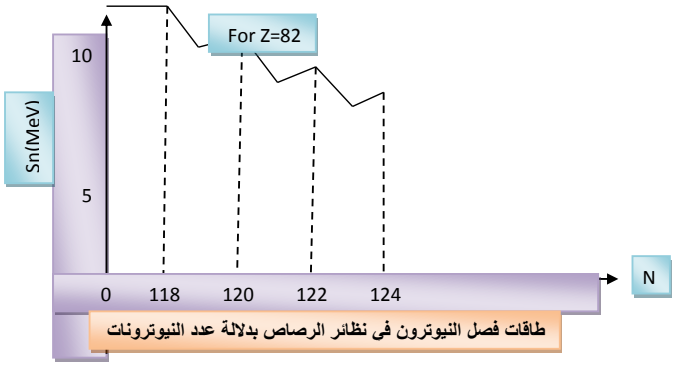
ان القوة النووية بين n- p هي اكبر من القوة النووية بين n-n واكبر من القوة النووية بين p-p , كما يمكن ان نستنتج ان القوة بين p-p ≈ n-n حيث لو كانت القوة بين n-n اكبر من القوة بين p-p لوجدنا ان النوى الخفيفة المستقرة تحتوي عددا من النيوترونات اكبر من عدد البروتونات ولو كان العكس لصح العكس ايضا .

اما لو كانت القوى p-p≈p-n≈n-n لاصبح من المنطق ان تحتوي النوى حتى الخفيفة على عدد من النيوترونات اكبر من البروتونات. اما سبب ميول النوى الثقيلة لان يكون فيها عدد النيوترونات اكبر من البروتونات فيمكن ان نعزيه لازدياد قوة تنافر كولوم بين البروتونات الكثيرة في النوى الثقيلة كما ذكرنا سابقا . ومن الدراسات التي اجريت على نوى العناصر والنظائر المختلفة وجدت هنالك بعض الملاحظات الجديرة بالاهتمام :

1- ان النوى الخفيفة التي يكون عدد نوياتها مساويا لعدد صحيح من جسيمات الفا تكون B_{ave} فيها عالية.

2- لقد وجد ان استقرارية بعض النوى عالية بالنسبة لما يجاورها من النوى اذا كان عدد البروتونات Z او النيوترونات N يساوي (2,8,20,28,50,82,126) وتسمى هذه الاعداد بالاعداد السحرية (magic number) .

3- ان طاقة فصل النيوترون S_n عند عدد ذري Z معين تكون اكبر في النوى ذات العدد الزوجي ل N منها في النوى الفردية العدد N مثلا $S_n(^{202}_{82}Pb_{120}) \rangle S_n(^{201}_{82}Pb_{119})$ وكذلك S_n عند عدد معين من N اكبر في العدد الزوجي Z منها في العدد الفردي مثلا $S_n(^{12}_{6}C_6) \rangle S_n(^{11}_{5}B_6)$ **والسبب في ذلك هو ان من خواص القوة النووية تكون قوة ربط عالية بين ازواج النويات المتشابهة والتي تكون في مستوي واحد او بسبب تاثير الازدواج على طاقة الفصل.** ان هذه الملاحظات وغيرها قد ساعد في اعطاء تصور ما عن تركيب النواة .



ان من بين 1400 نظير الموجودة في الطبيعة هنالك ما يقارب 280 نظير مستقر واكثر من نصف هذا العدد (160 نوية) زوجية – زوجية وهنالك حوالي 49 نوية زوجية - فردية و53 نوية فردية – زوجية كما في الجدول .

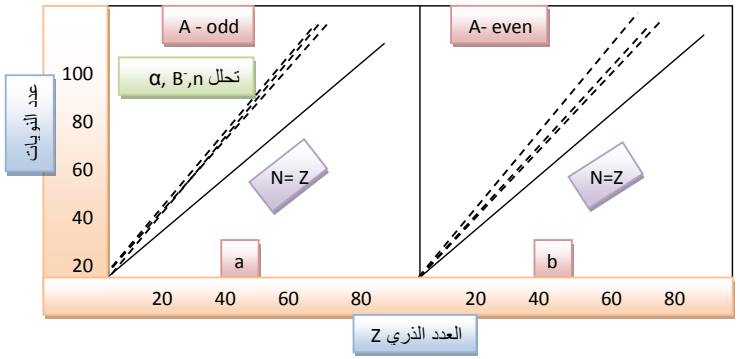
N	even	odd	even	odd
Z	even	even	odd	odd
Number of Nuclides	160	53	49	4

استقرارية النواة والقوة النووية: ***Abundance of stable nuclei***

الوفرة الطبيعية للنوى المستقرة : تتواجد نظائر العناصر في الطبيعة بنسب تعتمد على استقراريتها ويرسم N كدالة ل Z والموضحة في الشكل التالي والذي يبين ان منطقة الاستقرار تتمركز حول خط الاستقرار N = Z بالنسبة للنوى الخفيفة . اما بالنسبة للنوى الثقيلة فأن منطقة الاستقرار ستنحرف عن هذا الخط مقتربة من محور N لان النوى الثقيلة تحتوي على نيوترونات اكثر من البروتونات .

ان النوى غير المستقرة والواقعة على يمين منطقة الاستقرار تتحلل غالبا عن طريق تحلل B^+ او تأسير الالكترون وذلك لان فيها فائض من البروتونات على نقيض النوى غير المستقرة الواقعة على يسار منطقة الاستقرار التي تحتوي على فائض من النيوترونات فنراها تتحلل عن طريق تحلل بيتا السالبة (B^-) او تحلل n او تحلل α .

حيث يبين الشكل (a) النوى الفردية العدد الكتلي ويبين الشكل (b) النوى الزوجية العدد الكتلي ومن الملاحظ من الشكلين ان في النوى الخفيفة لحد تقريبا(N=Z=20) يكون عدد النيوترونات مساويا لعدد البروتونات فأن الاستقرار يتطابق مع الخط المستقيم .



النظريات الاساسية حول طبيعة النواة:

في غياب المعلومات المفصلة حول القوة النووية فان وصف طبيعة وتركيب النواة يبقى في إطار النماذج (models) التي تحاول تفسير الظواهر التي لوحظت في النوى ولحد الان لا توجد نماذج شاملة ودقيقة لوصف التركيب النووي والقوة النووية ومن الجدير بالذكر ان هنالك العديد من هذه النماذج منها :

1- نموذج قطرة السائل liquid- drop models 2- نموذج الاغلفة (القشرة) Shell model
3- النماذج التجميعية Collective models 4- نموذج التشوه الحركي
5- نموذج البوزونات المتفاعلة Interacting boson model (IBM
6- النموذج البصري Optical model 7-النموذج الاحصائي statistical model
8- النموذج العنقودي cluster ,or α-particle model وغيرها .

وتوجد نماذج عديدة لا مجال لذكرها ولكل من هذه النماذج نجاحا في بعض الجوانب واخفاقا في جوانب أخرى وسوف نتكلم عن النموذجين الاوليين لانهما اكثر النماذج نجاحا في تفسير الكثير من الخواص النووية .

1- نموذج قطرة السائل او الصيغة شبه الوضعية لطاقة الربط:

اقترح بور هذا النموذج عام1937 لتفسير بعض الظواهر الفيزيائية النووية كالانبعاث النووي Radioactivity والانشطار النووي Nuclear Fission واشتقاق معادلة طاقة الربط النووية الا انه لا يصف حركة النيوكليونات داخل النواة ولا كيفية تفاعلها مع بعضها .
ومن تسمية النموذج يتضح ان النواة قد شبهت بقطرة السائل ومن مبررات التسمية واسباب اقتراح النموذج هي:
1- مثلما يكبرحجم قطرة السائل بزيادة عدد جزيئات السائل نلاحظ ان حجم النواة يكبر ايضا كلما زاد عدد نيوكليوناتها اي كلما زاد العدد الكتلي A وفق العلاقة:

$R = R_o A^{1/3} \rightarrow V = \frac{4}{3}\pi R^3 \rightarrow V = \frac{4}{3}\pi R_0^3 A$

2- تبخر السائلEvaporation يقابل ظاهرة النشاط الاشعاعي او الانبعاث النووي radioactivity فهروب قسم من جزيئات السائل من القطرة يقابل انبعاث جسيمات α, β من النواة.
3- انقسام قطرة سائل كبيرة الى قطرتين صغيرتين يقابل ظاهرة الانشطار النووي (وهي ظاهرة انقسام نواة ثقيلة غير مستقرة بقصفها بنيوترون مثلا الى نواتين متقاربتين بالكتلة.

لقد طور هذا النموذج من قبل weizsacker عام 1953 وهو نموذج تقريبي جدا تهمل فيه الخصائص الدقيقة للقوى النووية ولكن يؤكد فيه التجاذب بين النيوكليونات , وتستند هذه النظرية على اعتبار ان طاقة الربط وحجم النواة يتناسب طرديا مع عدد الجسيمات (النيوكليونات) في النواة بالمناظرة مع خواص القوة التي تجمع قطرة السائل مع بعضها حيث يمكن اعتبار مشابهه لقطرة من سائل غير قابلة للانضغاط وذات كثافة عالية ($10^4 gm/cm^3$) هذه الفكرة مع اعتبارات كلاسيكية اخرى كقوة التنافر الكهربائي والشد السطحي استخدمت لوضع الصيغة شبة الوضعية للكتلة او الطاقة الرابطة في النواة غير المتهيجة , **وتقوم هذه الصيغة على الفرضيات التالية التي اقترحها بور:**

1- النواة تتكون من مادة غير قابلة للانضغاط ونصف قطرها R يتناسب مع $A^{1/3}$ اي ان :
$R \propto A^{1/3}$
2- القوة النووية التي تربط بين نويتين لا تعتمد على شحنتها اي انها متساوية لجميع النيوكليونات وبذلك فأنها لاتعتمد على كونها بروتونات او نيوترونات (اي القوة بين P – P و n – n و p – n متساوية).
3- القوة النووية ذات مدى قصير جدا وهي ثابتة ضمن مدى تأثيرها أي انها مشبعة . ان حالة النويات في النواة تشبه الى حد بعيد حالة الجزيئات في المواد السائلة التي تتأثر بشكل كلي تقريبا بمكوناتها فقط كما انها تتحرك بصورة طليقة تقريبا مع الحفاظ على مسافة ثابتة فيما يفسر لنا هذا التشابه بين النواة وقطرة السائل هو الذي دعى الى تسمية هذا النموذج بنموذج قطرة السائل .

وتقوم الصيغة الوضعية على الاعتبارات التالية :
1- طاقة الحجم E_v :ان القسم الاكبر من الطاقة الرابطة للنواة هو القسم الذي يتناسب مع العدد الكتلي A نظرا لان حجم النواة يتناسب مع العدد الكتلي A **ويسمى هذا الجزء بطاقة الحجم** E_v اي ان :
$E_v \propto A$
$E_v = a_v A$ ----------(1)

لاجل اعطاء حجج لوجود هذا الحد فأننا نتذكر ا- ان الحجم النووي يتناسب تقريبا مع عدد النيوكليونات ب- ان القوى النووية هي ذات مدى قصير جدا فأن كل جسيم سوف يتأثر بعدد معين فقط من النيوكليونات التي تجاوره وتؤدي القوى التجاذبية مع هذه النيوكليونات الى طاقة الارتباط التي هي متساوية تقريبا لجميع الجسيمات داخل النواة.
2- طاقة تنافر كولوم **E_c:** ان طاقة التنافر الكهربائي (coulomb energy) **E_c** بين البروتونات والتي تكون مساوية للطاقة الكامنة في حالة وجود Z من البروتونات تعمل على تقليل طاقة الربط

$E_c = -\frac{3}{5}Z(Z-1)\frac{e^2}{R}$ But $R = R_o A^{1/3}$

$E_c = -\frac{3}{5R_0} Z(Z-1) \frac{e^2}{A^{1/3}}$, $a_c = (3/5)(e^2/R_o)$

$E_c = -a_c(Z(Z-1)/A^{1/3})$ ---------(2)

تؤكد هذه المعادلة ان كلا من z بروتون يتنافر مع z-1 بروتون ولا يتنافر مع نفسه بدليل ان الشغل الازم لجلب البروتون الاول يساوي صفر لان z في هذه الحالة يساوي واحد وعند التعويض عن قيم الثوابت بالمعادلة (2) نجد ان : $E_c = -\frac{0.72z(z-1)}{A^{\frac{1}{3}}}$

3- طاقة المساحة السطحية E_s : ان اعتبار جميع الجسيمات تتفاعل مع العدد الكلي للجسيمات وبنفس التأثير هو غير واقعي فهنالك النيوكليونات التي تقع على السطح والتي لاتتفاعل الا مع نصف العدد تقريبا ولهذا يجب طرح كمية تتناسب مع المساحة السطحية للنواة $4\pi R^2$ اي:
$E_s \propto 4\pi R^2$, $R = R_o A^{1/3}$

$E_s = 4\pi R_o^2 A^{2/3}$

$E_s = -a_s A^{2/3}$ ---------(3)

وحسب العلاقة اعلاه فأن عدد النويات المحاطة بعدد من النويات اقل من 12 نوية يتناسب مع $A^{2/3}$ وهذه الصفة تقلل طاقة ترابط النواة بالمقدار السابق وتلعب هذه الطاقة دورا مهما في حالة الانوية الخفيفة .

4- حد عدم التناظر: Assymmetry term E_a

لقد وجد عمليا انه في حالة ايزوبارين عدداهما الكتليان زوجيان فان الايزوبار الذي فيه $Z=N=\frac{A}{2}$ يكون اكثر استقرارا من الايزوبار الذي فيه $N \neq Z$ وهذا يعني ان عدم تساوي العدد البروتوني Z والعدد النيوتروني N يعمل على تقليل طاقة الربط النووية للايزوبار مثلا طاقة الربط للايزوبار $^{16}_{8}O$ اكبر من طاقة الربط للايزوبار $^{16}_{7}N$ وتعرف طاقة عدم التناظر assymmetry energy بانها الفرق بين الطاقات النووية لنواة يكون فيها عدد البروتونات Z والنيوترونات N بحيث ان $Z \neq N$ وبين نواة ايزوبار يكون فيها عدد كل من البروتونات والنيوترونات $N=Z=\frac{A}{2}$

او هي عبارة عن الفرق بين طاقة الربط لايزوبارين احدهما فيه $N=Z=\frac{A}{2}$ وفي الاخر $Z \neq N$ اي:

$$E_a = B\left(A, Z=N=\frac{A}{2}\right) - B(A, Z \neq N)$$

وقد وجد عند بناء النواة الاولى من الثانية فأن υ من البروتونات يجب تحويلها الى نيوترونات اي:

$N=\frac{A}{2}+\upsilon$, $Z=\frac{A}{2}-\upsilon$

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

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

ووجد عمليا ايضا بأن طاقة اللاتناظر تتناسب طرديا مع مربع فائض عدد النيوترونات $(A-2Z)^2$ وعكسيا مع العدد الكتلي A اي ان:

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

$E_a = -a_a(A-2Z)^2/A = -a_a(N-Z)^2/A$ ----------(4)

5- حد تاثير الازدواج : Pairing term E_δ

لقد وجد عمليا ان الترابط بين نيوكليونين من نفس النوع (p,p) او (n,n) يكون اعظم ما يمكن عندما يكون الزخم الزاوي لكل منهما اعظم ما يمكن ويساوي بالمقدار ويعاكس بالاتجاه للاخر والتاثير المزدوج يجعل النوى (الزوجية-الزوجية) اكثر وفرة واستقرارا من النوى (الزوجية – الفردية) او بالعكس او النوى الفردية – الفردية وكذلك فان الانوية التي فيها N=Z تكون اكثر استقرارا والمتمثلة بالانوية الخفيفة كما ان عدد N>Z في الانوية الثقيلة والذي يجعلها اكثر استقرارا ولهذا وضع الحد E_δ والذي **يمثل طاقة الازدواج** ويعتمد على نوع النواة وتكون قيمته 0 او $\mp\frac{33}{A^{\frac{3}{4}}}$ وتكون قيمته صفر عندما تكون A فردية والاشارة الموجبة للانوية الزوجية – الزوجية والإشارة السالبة للنوى الفردية - الفردية .

اذا كان A يمثل العدد الكتلي لنواة زوجية-فردية او فردية زوجية و A+1 يمثل العدد الكتلي لنواة زوجية-زوجية و A-1 يمثل العدد الكتلي لنواة فردية-فردية فيمكن كتابة حد تاثير الازدواج بالمعادلة:

$$E_\delta = \frac{B(A-1)+B(A+1)}{2} - B(A)$$

6- حد القشرة (T_{sh}): shell term (حد تاثير امتلاء القشرة):

لقد وجد عمليا ان النوى التي فيها N=Z =عدد سحري تكون مستقرة وذات طاقة ربط عالية اما اذا كانت N او Z او كليهما قريبة من عدد سحري فانه يسبب زيادة في طاقة الربط فعليه ولاخذ هذا التاثير بنظر الاعتبار يجب تمثيله بحد في معادلة طاقة الربط النووية وعمليا وجد انه يساوي: $T_{sh} = 1 \rightarrow 3MeV$

$T_{sh} = 3MeV$ for Z=N = magic no. for example: $^{4}_{2}He_2$,$^{16}_{8}O_8$

$T_{sh} = 2MeV$ for Z or N = magic no. for example: $^{15}_{8}O_7$,$^{15}_{7}N_8$

$T_{sh} = 1MeV$ for Z and N = no magic no. for example: $^{19}_{9}F_{10}$

لهذا تصبح الصيغة النهائية لطاقة الربط كما يلي :

$B_{tot}(A,Z) = a_v A - a_s A^{2/3} - a_c(Z(Z-1)/A^{1/3}) - a_a((N-Z)^2/A) \mp \delta + T_{sh}\ 1 \rightarrow 3$

Or: $B(A,Z) = 14A - 13A^{2/3} - \frac{0.72Z(Z-1)}{A^{\frac{1}{3}}} - \frac{20(N-Z)^2}{A} \mp \frac{33}{A^{\frac{3}{4}}} + T_{sh}\ 1 \rightarrow 3$

ان قيم الثوابت a_v, a_s, a_c, a_a, a_p هي عبارة عن ثوابت تجريبية وتعتمد على كيفية تفسير تأثير كل حد لذا نجد قيم مختلفة لهذه الثوابت منها:

$a_v=14$, $a_s=13$, $a_c=0.60$, $a_a=19$, $\delta=34/A^{3/4}$

$a_v=16$, $a_s=18$, $a_c=0.72$, $a_a=23.5$, $\delta=11/A^{1/3}$

وبأختصار فأن نموذج قطرة السائل استطاع ان يفسر بعض التفاعلات النووية في حدود طاقات لا تتجاوز 100MeV لكنه فشل في تفسير التفاعلات التي تتجاوز هذه القيمة كما انه لم يستطيع تفسير بعض الخواص النووية كالزخم الزاوي والعزوم المغناطيسية .

ان نموذج قطرة السائل يؤكد التأثير التعاوني لعدد كبير من النيوكليونات في النواة ويعد اساسا للنماذج التجميعية Collective models .

2- نموذج الاغلفة: Shell model

وهذا النموذج هو احد اهم النظريات حول التركيب النووي ومن مبررات ظهوره :

أ- ان كثير من خواص النواة تبدو انها تتغير بشكل دوري او انها تشكل انقطاعا مفاجئا discontionty عند قيم زوجية معينة من البروتونات او النيوترونات وقد لوحظ تجريبيا ان النواة تكون مستقرة عندما يكون عدد البروتونات Z او النيوترونات N=A-Z مساويا لاحدى القيم (2,8,20,28,50,82,126) وقد فسر ذلك بأن هذه الاعداد تشكل اغلفة مشبعة (مغلقة) شبيهة بتلك التي تكونها الالكترونات في الذرة ويبدو ان اغلفة البروتونات مستقلة عن اغلفة النيوترونات وقد وجد فعلا بان الاغلفة المشبعة النيوترونية اوالبروتونية هي المسؤولة عن وجود الاعداد السحرية الغريبة (السحرية) المذكورة.

ب- ان مقطعالعرضي لامتصاص النيوترونات ذي طاقة 1Mev قليلا عادة في النوى التي تحمل (50,82,126) نيوترون بنسبة 50% مقارنة بالنوى المجاورة وهذا يدل على مدى الفاصل الكبير في المستويات في النواة المركبة المتكونة من امتصاص النيوترون ومن الجدير بالذكر ان مقطع الامتصاص هو كمية تتناسب مع احتمالية حصول الامتصاص وكلما كان الفاصل بين المستويات كبيرا قل احتمال التفاف capture النيوترون .

مبدأ نموذج الاغلفة:

يعتبر التفاعل بين النيوكليونات بالتفاعل الضعيف (التزاوج الضعيف) **ولهذا يسمى احيانا بنموذج الجسيمة المستقلة** ويعتمد هذا النموذج على الفرضية القائلة بأن النيوكليونات تدور في مدارات خاصة بها داخل النواة وان تفاعلها فيما بينها ضعيف جدا وبصورة مستقلة عن بقية النيوكليونات ويتحدد نصف قطر مداره بالطاقة الكامنة النووية التي تنتج عن تفاعل او تجاذب النيوكليون مع بقية النيوكليونات وعملية تحلل كاما (اي انبعاث اشعة كاما من النواة وبطاقات محددة)تدعم فكرة المدارات النووية للنيوكليونات لا بل هي خير دليل على متانة ورصانة نموذج القشرة

.ان وضع هذا الكلام بلغة معادلة شرودنكر يعني اننا يجب ان نتصور ان كل نيوكليون يتحرك داخل الجهد الكروي ولكن هنالك ادلة جيدة على ان النيوكليونات البعيدة عن القشرة المغلقة تكون تحت تأثير جهد بيضوي الشكل ،

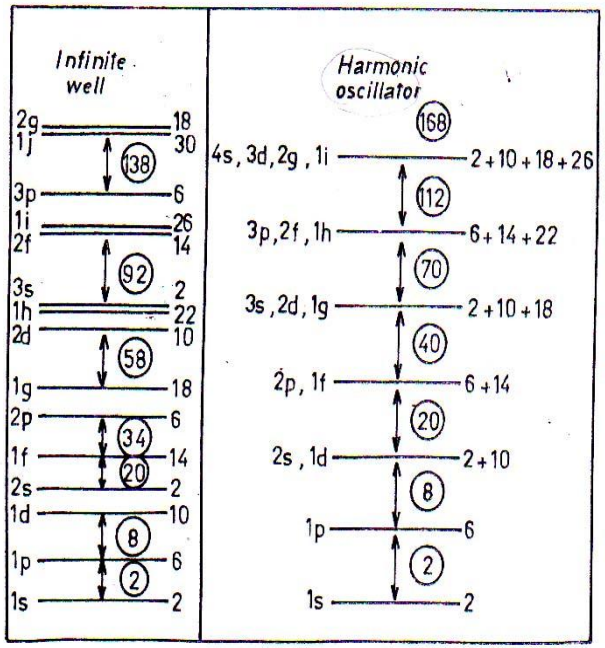
ان مستويات الطاقة لاي جهد متناظر كرويا V(r) يمكن حسابها من معادلة الموجة القطرية (radial wave equation) لاي زخم زاوي مداري l هي :

$$\frac{-h^2}{2m}\frac{d^2u(r)}{dr^2} + [\frac{l(l+1)h^2}{2m_0r^2} + V(r)]\,u(r) = Eu(r)$$

Where V(r) =spherical symmetric potential = $\frac{V_0}{1+e^{(r-R)/a}}$

V_0=57MeV , R=$1.25A^{1L3}F$, $a = 0.65F$

ومن ملاحظة الشروط الحدودية للحد u بالاخص عندما r→ ∞ افان u متعددة حدود محدود يعتمد على عددين كميين n,l حيث n هو العدد الكمي القطري و l هو العدد الكمي المداري ولتحديد مستويات الطاقة يجب معرفة هذين العددين الكميين فاذا كانت n=3 مثلا فان قيمة l=0,1,2 وتستخدم الحروف s,p,d بدل القيم العددية ولملئ المستويات المذكورة بالنيوكليونات يجب الاخذ بنظر الاعتبار قاعدة الاستثناء لباولي حيث لايمكن ان تتشابه الاعداد الكمية الاربعة n,l,m_l,m_s حيث $m_s = \pm\frac{1}{2}$ و $-l \le m_l \le l$ فاذا كانت l=2 فانm_l =2,1,0,-1,-2 وكل مستوي من هذه المستويات يمكن اشغاله بنيوكليونين ذو $m_s = \frac{1}{2}$ و $m_s = -\frac{1}{2}$ وبهذا يكون العدد الكلي للنيوكليونات هو10 اي ان عدد الاشغال 2(2l+1) فأذا كان المستوي مشبع تماما فأن النواة تكون ذات استقرارية عالية وكذلك اذا كان الفاصل بين المستوي المشغول والمستوي غير المشغول كبيرا فان تهيج النواة يتطلب طاقة عالية ولهذا ظهرت الاعداد السحرية الا ان هذه الاعداد لم تظهر جميعها كما يلاحظ ذلك من منخفض الجهد الرباعي ومنخفض الجهد المتذبذب التوافقي حيث ظهرت المستويات 2و8و20 الا ان المستويات 28و50و82و126 لم تظهر كما في الشكل(1)



الشكل (1): تركيب القشرات النووية التي تم الحصول عليها بوساطة جهد المتذبذب التوافقي وجهد البئر اللانهائي

والذي يعطي تركيب القشرات التي تم الحصول عليها بوساطة جهد المتذبذب التوافقي وجهد البئر اللانهائي.

نموذج القشرة بازدواج البرم والمدار: Shell model with spin-orbit coupling

لقد افترض ماير Mayer وجينيز Jensen, Suess. Haxel. ,(1949) بوجوب وجود تفاعل قوي بين الزخم الزاوي المداري وبين البرم الذاتي لكل نيوكليون لغرض تفسير ظاهرة ظهور المستويات المغلقة 2و8و20 في منخفض الجهد المتذبذب التوافقي والكروي المربع وعدم ظهور المستويات 28و50و82و 126 ونتيجة لهذا التفاعل يصبح الزخم الكلي J هو :

$J=l\mp S$ i.e $J=l+\frac{1}{2}$ or $J=l-\frac{1}{2}$

فينفصل كل مستوي الى مستويين ثانويين ويأخذ المستوي ذو الزخم الكبير المستوي الاوطأ للطاقة (قاعدة هوند) وبعد هذا الافتراض ظهرت المستويات المغلقة 2و8و20 و126.82.50.28 كما يتضح من الشكل (2).

ان اوطأ حالة في مستوي القشرة يجب ان تمتلئ الى حد **(2J+1)** من الجسيمات المتشابهة عدا الحالات التي تكون قريبة جدا من بعضها او في الحقيقة فأنها قد تتبادل المواقع وبهذا فأنه يحدث تنافس فيما بينها . لحد الان اخذنا بنظر الاعتبار **1- التجاذب بين احد النيوكليونات وبقية النيوكليونات الاخرى 2- تفاعل البرم والمدار لكل نيوكليون** , ان هذين العاملين يمثلان الجزء الاكبر من طاقة التفاعل وكما هي الحالة في الفيزياء الذرية فأن هنالك تفاعلات متبقية (residual interaction) بين الجسيمات في كل حالة (قشرة ثانوية) وتلاحظ في القشرة الثانوية الاخيرة فقط اذا كانت ممتلئة جزئيا . وبما ان جميع المستويات الممتلئة تماما تعطي زخما زاويا قيمته صفر فقط للنواة وتعطيها تماثلا موجبا فأن الزخم الزاوي والتماثل للحالة الارضية للنواة تحدد بواسطة التفاعلات المتبقية فقط .

ونلاحظ ايضا من دراسة الكتل الذرية ان طاقة فصل زوج من النيوترونات هي اكبر من ضعف طاقة الفصل لنيوترون منفرد واحد . ونفس الشئ ينطبق على البروتونات. ان الفرق وهو طاقة الازدواج يبلغ بحدود 2 MeV→1 ويمثل الجزء الاكبر من التفاعلات المتبقية ويظهر ان طاقة الازدواج تنتج من حقيقة انه عند وجود نيوكليونين من قشرة ثانوية لها قيم متعاكسة $-l<m_j>l$ فان دالتي موجتهما تتلاحمان ولما كان الجهد بينهما هو جهد تجاذبي فأن هذا يؤدي الى حالة اكثر ارتباطا للنواة **وبسبب طاقة الازدواج هذه فأن عددا زوجيا من النيوكليونات المتشابهة في قشرة ثانوية ممتلئة جزئيا تكون ازواجا يكون مقدار الزخم الزاوي الذي تعطية للحالة الارضية هو 0^+ اما اذا كان عدد النيوترونات او البروتونات في القشرة الثانوية هو فرديا فأن احد هذه الجسيمات سيبقى غير مزدوج ان هذه الاعتبارات** تؤدي الى القواعد الاتية في طريق حساب الزخوم الزاوية والتماثلات للحالات النووية الارضية :

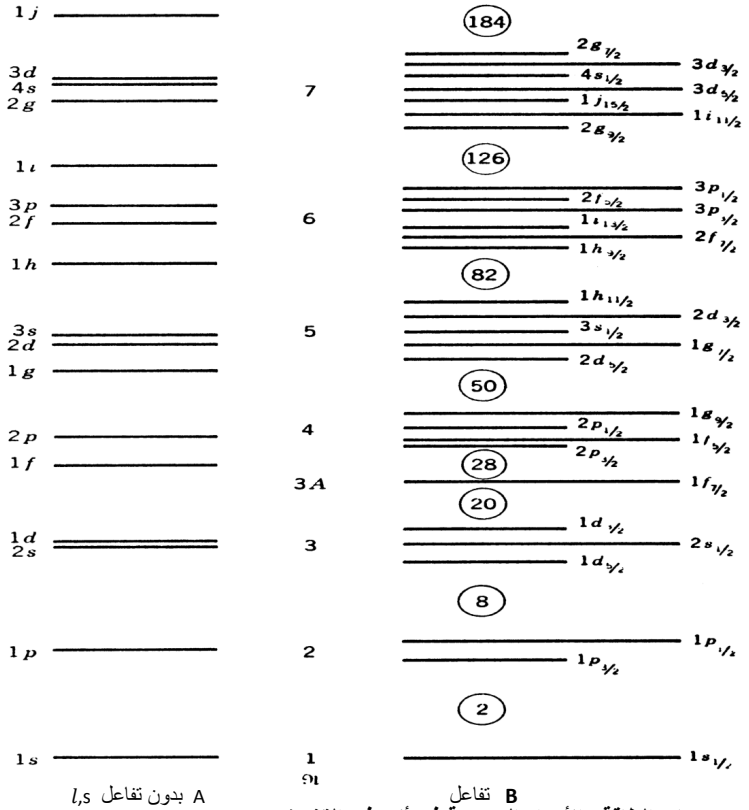
1- ان النوى الزوجية – الزوجية يكون زخمها الزاوي الكلي للحالة الارضية هو $J=0^+$ ولا يوجد استثناء لهذه القاعدة .

2- النوى الفردية التي فيها N او Z فردية يكون زخمها الزاوي في الحالة الارضية مساويا لزخم النيوكليون (البروتون او النيوترون) غير المزدوج ويكون تماثلها هو $(-1)^{\ell}$.

3- اما النوى الفردية – الفردية فيكون الزخم الزاوي لها يساوي احد قيم Jp+Jn و|Jp-Jn| وان زخمها الزاوي الكلي عبارة عن حاصل الجمع الاتجاهي لقيم J لكل من البروتون المنفرد والنيوترون المنفرد اي ان : $J=j_p+J_n$

وبهذا فأن العدد الكمي J يكون عددا صحيحا محصورا بين : $|J_p-j_k|\leq J\leq j_p+j_n$

كما ان التماثل في هذه الحالة سيكون حاصل ضرب تماثل كل من البروتون والنيوترون $\pi=(-1)^{Lp+Ln}$. وهنالك بعض الاستثناءات لهذة القاعدة .



مستويات الطاقة والأعداد السحرية في أنموذج القشرة

الشكل (A) يمثل عدم تفاعل البرم-المدار والشكل B يمثل تأثير البرم-المدار على انقسام المستويات ذات L > 0

ان القيم العملية المقاسة للزخوم الزاوية للحالات النووية الارضية توفر اختبار اكثر دقة لنموذج القشرة من ذلك الذي توفره الاعداد السحرية . ان النتائج العملية تدل على ان ترتيب مستويات الطاقة يكون كالاتي:- النوى الفردية البروتونات :

$(1S_{1/2})^2_2\ (1P_{3/2})^4\ (1P_{1/2})^2_8\ (1d_{5/2})^6\ (2S_{1/2})^2\ (1d_{3/2})^4_{20}\ (1f_{7/2})^8_{28}\ (2p_{3/2})^4$
$(1f_{5/2})^6\ (2p_{1/2})^2\ (1g_{9/2})^{10}_{50}\ \underline{(1g_{7/2})^8}\ (2d_{5/2})^6\ (1h_{11/2})^{12}\ (2d_{3/2})^4\ (3S_{1/2})^2_{82}$
$(1h_{9/2})^{10}\ (2f_{7/2})^8\ \ (3p_{3/2})^4$

2- النوى الفردية النيوترونات odd neutron nuclei :

$(1S_{1/2})^2_2\ (1p_{3/2})^4\ (1p_{1/2})^2{}_8\ (1d_{5/2})^6\ (2S_{1/2})^2\ (1d_{3/2})^4{}_{20}\ (1f^{7/2})^8{}_{28}\ (2p_{3/2})^4\ (1f_{5/2})^6$
$(2p_{1/2})^2\ (1g_{9/2})^{10}_{50}\ \underline{(2d_{5/2})^6}\ (1g_{7/2})^8\ (3S_{1/2})^2\ (2d_{3/2})^4\ (1h_{11/2})^{12}{}_{82}\ (2f_{7/2})^8$
$(1h_{9/2})^{10}\ (3p_{3/2})^4\ (2f_{5/2})^6\ (3p_{1/2})^4\ (1i_{13/2})^{14}{}_{126}\ (2g_{9/2})^{10}\ (3d_{5/2})^6\ (1i_{11/2})^{12}\ (2g_{7/2})^8$

ان أوطأ حالة في مستوي القشرة يجب ان تمتلئ الى حد (2j+1) من الجسيمات المتشابهة (أي ان كل مستوي يشغل ب (2J+1) من النيوكليونات) ووفق هذه العلاقة نحصل على n^LJ اما عدد الاشغال الكلي $2(2l+1)$ من النيوكليونات.

في حالة النوى الزوجية – الزوجية تكون البروتونات والنيوترونات على شكل ازواج لذلك فالزخوم البرمية والزخوم المدارية لهذه النويات تلغي بعضها البعض وهذه النتيجة تتفق مع المشاهدات العملية بأن الزخم الزاوي الكلي للنوى الزوجية - الزوجية = صفر .

تنبؤات نموذج القشرة: Prediction of shell model

بالرغم من فشل نموذج القشرة في حساب طاقة الربط النووية الا ان تنبؤاته وحساباته للزخم الزاوي الكلي للنوى وعزم رباعي الاقطاب لها وعمر النصف للحالات شبه المستقرة تتفق وبشكل جيد جدا مع النتائج العملية وكما يلي:

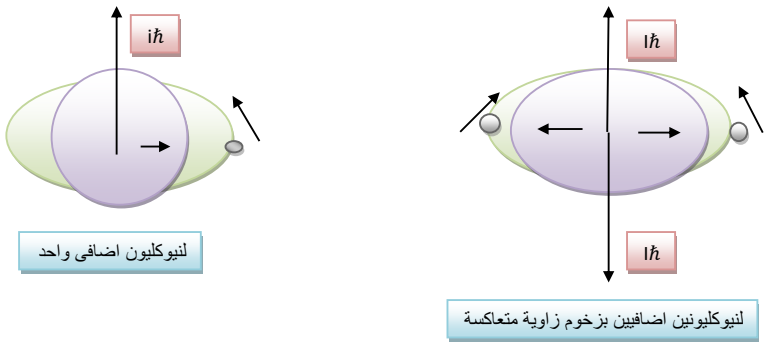
1- الزخم الزاوي الكلي للنوى : يتنبا النموذج بشكل جيد جدا الزخم الزاوي الكلي للنوى باعتبار ان النيوكليونات المتشابهة ترتبط مع بعضها ازواجا فالزخم الزاوي لنيوكليونين يساوي صفرا والزخم الزاوي الكلي لقشرة مغلقة يساوي صفر ايضا وهذه التنبؤات مفيدة بشكل خاص في تصنيف تحلل بيتا وتتفق مع النتائج العملية .

2- شبه الاستقرار Isomerism :شبه الاستقرار يعني وجود حالات تهيج عمر النصف لها كبيرا ويمكن قياسه وتسمى مثل هذه الحالات حالات شبه مستقرة حيث التحول او الانتقال الى الحالة الاقل تهيجا قليل الاحتمال فتبقى النواه متهيجة لمدة طويلة .يتنبا هذا النموذج بوجود حالات شبه مستقرة في النوى التي فيها قشرات غير ممتلئة اي النوى التي فيها Nاو Z او كلاهما قريب من الاعداد السحرية حيث ΔI يكون كبيرا ولا توجد حالات شبه مستقرة في النوى التي اها يضعة نيوكليونات خارج قشرة مغلقة حيث يتوقع ان يكون الفرق في الزخم الزاوي الكلي ΔI بين مستويات الطاقة المتجاورة قليلا وتتفق هذه التنبؤات مع النتائج العملية بشكل جيد.فمثلا نظائر الزينون $^{133}_{54}Xe_{79}$ $^{131}_{54}Xe_{77}$ $^{129}_{54}Xe_{75}$ $^{127}_{54}Xe_{73}$ $^{135}_{54}Xe_{81}$ فيها حالات شبه مستقرة بينما النظائر $^{139}_{54}Xe_{85}$ $^{137}_{54}Xe_{83}$فليس لها حالات شبه مستقرة

س١ كيف يفسر نموذج القشرة وجود حالات شبه مستقرة في بعض نظائر الزينون وعدم وجودها في النظائر الاخرى ؟

النماذج النووية الاخرى:

ان نموذج القشرة لم يأخذ بنظر الاعتبار خاصية التأثير الذي يشوه شكل النواة والناتج عن النيوكليونات الخارجية وتأثيرها على النيوكليونات الاخرى فلو تصورنا اننا قمنا باضافة نيوكليون واحد الى نواة ذات قشرة مغلقة فأن قيمة الزخم الزاوي المداري (l) لهذا النيوكليون ستكون كبيرة ولهذا فأن دالة موجته ستكون لها قيمة قصوى قريبا من نصف قطر النواة او بالمعنى الكلاسيكي فأننا نستطيع القول ان النيوكليون سيدور حول القلب الذي يكون القشرة المقفلة للنيوكليونات كما في الشكل:



التأثير المشوه للنيوكليون الاضافي على نواة مغلقة القشرة :

ان التفاعل القوي بين النيوكليونات والقلب سيؤدي الى تشويه شكل القلب حيث ان القلب سيؤثر بقوة مركزية على النيوكليون وكرد فعل لهذه القوة فأن قوة مركزية طاردة سوف تؤثر على القلب , اما اذا كان هنالك نيوكليونان خارج القشرة فأنهما سوف يتحركان في مدار واحد ولكن بأتجاهين متعاكسين بسبب تأثير الازدواج ولهذا فأن التشوه سوف يزداد وبإضافة عدد اكبر من النيوكليونات فأنه سوف يؤدي الى تشوه النواة بصورة دائميه مع ظهور تأثيرات مرافقة لذلك على المدارات ومناقشة هذا الموضوع يقع خارج نطاق المنهج الا انه من المفيد مناقشة نتيجة واحدة هي ان الجسيم الذي له محور تناظر في ميكانيك الكم كالبيضوي الدوار مثلا تكون له القابلية على الدوران حول محور عمودي على محور تناظره . ان طيف مستويات الطاقة لهذا الدوار هو ثابت الخواص وعلية فأن عددا كبيرا من النوى الزوجية – الزوجية قد اثبتت عمليا انها تعطي هذا الطيف فعلا وهذا يؤدي الى الاستنتاج ان النوى الدائمة التشوه موجودة بالتأكيد , ان من الممكن اشتقاق طيف الطاقة هذا بواسطة استخدام الحجج الكلاسيكية.

$$E=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m\omega^2R^2$$

اي ان الطاقة الحركية الدورانية هي :

$$E_{rot} = \frac{1}{2}\mathcal{J}\omega^2$$

حيث $\mathcal{J}$ هي عزم القصور الذاتي للجسيم حول محور الدوران و ω هي السرعة الزاوية للدوران ويمكن كتابة المعادلة اعلاه بدلالة الزخم :

$$L = \mathcal{J}\omega$$

$$E_{rot} = \frac{L^2}{2\mathcal{J}}$$

واذا انتقلنا من النموذج الكلاسيكي الى النموذج الكمي يجب ان نبدل L^2 ب:

$$L^2 = I(I+1)\hbar^2$$

حيث I هو عدد صحيح زوجي للنوى الزوجية الزوجية واقل قيمة لها هي الصفر

$$\therefore E_{rot} = \frac{I(I+1)\hbar^2}{2\mathcal{J}}$$

ويمكننا مقارنة هذه العلاقة البسيطة مع النتائج العملية للطيف . ان الفرق يظهر عند طاقات تهيج عالية **ويعود السبب لان تردد الدوران الكلاسيكي (ω) يزداد بزيادة قيمة I** وبهذا فأن النواة سوف تتشوه قليلا بقوة طاردة مركزية اكبر وهذا سيؤدي الى زيادة عزم القصور الذاتي لها .

يظهر مما سبق ان نموذج القشرة ذات الجسيم الواحد يكون صحيحا بالقرب من القشرة المقفلة وكلما شذ عدد النيوكليونات عن الاعداد السحرية فأن تأثيرات تعاونية تبدأ بالظهور بين النيوكليونات وهذه يمكن اخذها بسهولة بنظر الاعتبار في النماذج التجميعية (Collective models) التي تحتوي في اساسها على الحركة الدورانية التي ذكرت وكذلك على الحركة الاهتزازية , ان التقدم النظري قد اثبت ان التأثيرات التجميعية يمكن الحصول عليها باجراء تحويرات على نموذج القشرة وفي هذه الحالة فان الجهد المستعمل في نموذج القشرة يجب ان يكون محتويا على الحدود التالية:

1- جهد كروي رئيسي

2- حد يمثل تفاعل البرم والمدار : وهو حد ذو مدى قصير جدا يحاول جعل النواة كروية ويعمل على ازدواج النيوكليونات .

3- حد طويل المدى يحاول تشويه النواة.

عزم رباعي القطب الكهربائي النووي: Nuclear Electric Quadrupole Moment

ينتج توزيع الشحنات والتيارات الكهربائية عزوما كهربائية ومغناطيسية متعددة القطبية تتحدد بواسطة (2^L). فعندما يكون (l=0) أي ان الحركة المدارية تساوي صفرا فان (2^0=1) وهذا يعني تكون مجال كهربائي أحادي القطبية (monopole) يعرف بالمجال الكولومي الناتج عن التوزيع الكروي المنتظم للشحنة الكهربائية في النواة. وعندما يكون (l=1) أي ان هناك حركة مدارية للشحنة الكهربائية في مدارات مغلقة ينتج عنها مجال مغناطيسي ثنائي القطبية (dipole). وعندما يكون (l=2) ينتج العزم الكهربائي رباعي القطب (Quadrupole) وهكذا.

ويعرف العزم الكهربائي رباعي القطب بانه الانحراف (Deviation) عن التوزيع الكروي المتناظر للشحنة الكهربائية داخل النواة (البروتونات) .

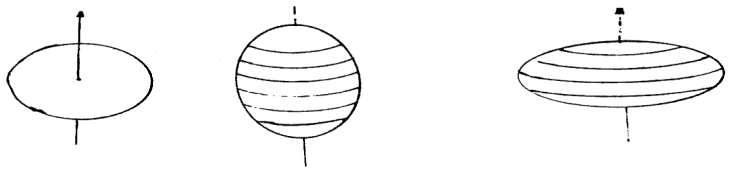
ان النوى المختلفة إما أن تكون نوى كروية (Spherical Nuclei) او نوى غير كروية وتسمى النوى المشوهة (Deformed Nuclei). ويكون توزيع الشحنة في النوى الكروية متناظراً كروياً، وتقع هذه النوى بالقرب من القشرات المغلقة التي تتحدد بالأعداد السحرية للبروتونات او النيوترونات (2, 8 , 20 , 28 , 50 , 82 , 126). لقد سميت هذه الأعداد بالأعداد السحرية لان النوى التي يكون فيها عدد البروتونات Z او عدد النيوترونات N مساويا لأحد هذه الأعداد تشكل قشرات مغلقة وتكون اكثر استقرارا وان طاقات الربط للنيوكليونات في هذه النوى تكون عالية وان هذه النوى يكون لها عدد كبير من النظائر المستقرة . ان العزم الكهربائي رباعي القطب في النوى الكروية يكون ذا قيمة صغيرة قد تصل إلى الصفر في النوى الزوجية – الزوجية ذات الأعداد السحرية . أما النوى المشوهة فتقع في وسط المسافة التي تتحدد بالقشرات المغلقة وتمتلك هذه النوى المشوهة عزوما كهربائية رباعية القطب ذوات قيم كبيرة وكلما ازداد التشوه ازدادت قيمة عزم رباعي القطب الكهربائي ويعطى العزم الكهربائي رباعي القطب بالعلاقة :

$$Q_0 = \frac{3}{\sqrt{5\pi}} R^2_{av}.Z\beta(1+0.16\beta)$$

اذ $R_{av} = R_0 A^{1/3}$ يمثل متوسط نصف قطر النواة و(R_0 =1.4fm) وβ معلم التشوه ويعطى بالعلاقة:

$$\beta = \frac{4}{3}\sqrt{\frac{\pi}{5}}\left(\frac{\Delta R}{R_{av}}\right)$$

اذ ان ΔR=b-a ويمثل a شبه المحور الصغير (Semi-minor axis) في النواة المشوهة و b يمثل شبه المحور الكبير (Semi-major axis) .ففي النوى الكروية يكون a =b و عزم رباعي القطب الكهربائي مساويا للصفر(Q_0=0)، أما في النوى المشوهة فيكون العزم الكهربائي رباعي القطب موجبا (Q_0>0) إذا كان b>a وتأخذ النواة الشكل البيضوي المتطاول (Prolate Shape) . فيما يكون العزم الكهربائي رباعي القطب سالبا (Q_0<0) عندما يكون (b<a)



(Q_0<0) الشكل المفلطح **(Q_0>0) الشكل المتطاول** **(Q_0=0)الشكل الكروي**

(الشكل 3) : شكل النواة تبعا للعزم الكهربائي رباعي القطب

وعلية فالنوى التي تحتوي على N اوZ عدد سحري يكون لها عزم رباعي القطب يساوي صفر وعلية فأنها متناظرة . وظاهرة الاعداد السحرية لا يمكن تفسيرها الا بادخال تأثير التزاوج القوي بين (L,S) وعليه فأن نموذج القشرة يستطيع تفسير عدد كبير من الظواهر النووية بالإضافة الى الاعداد السحرية.

مسائل الفصل الثاني

مثال1: اذا علمت ان : $M_n = 1.0086654$ amu و $M_H=1.007825$ a.m.u و $M(2,1)=2.014100$ a.m.u , أوجد 1- طاقة الربط الكلية 2- معدل طاقة الربط 3- كسر التراص ؟

1- $B_{tot}(A,Z)=[M_H*Z+M_nN-M(A,Z)]c^2$

$B_{tot}(2,1)=[(1.007825*1) +(1.008665*1) –(2.014100)]\ 931.48 =2.23MeV$

2- $B_{ave}= \frac{Btot(A,Z)}{A} = \frac{2.23}{2} = 1.115MeV$

3- $F = \frac{M(A,Z)-A}{A} = \frac{2.014100-2}{2} = \frac{0.0141}{2} = 0.00705$

مثال2: احسب طاقة الفصل لنيوترون ذرة النيتروجين $^{15}_{7}N$ اذا علمت ان $M(15,7)=15.00108$ بوحدات a.m.u $M(14,7)=14.00307$ ؟

$S_n=[M(A-1,Z)+M_n-M(A,Z)]c^2$

$S_n=[14.00307+1.008665-15.000108]931.48 = (\ \ )$

Ex3: Calculate the separation energy of ∝- particle from $^{11}_{5}B_6$ 1-in terms of mass 2- in terms of B.E .

Sol: $^{11}_{5}B_6 - {}^{4}_{2}He_2 = {}^{7}_{3}X_4 = {}^{7}_{3}Li_4$

.

مثال3: اذا علمت ان كتلة نواة الليثيوم $^{7}_{3}Li$ هي 3.016004 a.m.u احسب:

1- طاقة الربط بين الجسيمات الموجودة داخل النواة مقدرة بالجول و الارك
2- معدل طاقة الربط.

يمكن تعريف طاقة الربط ايضا بانها الطاقة التي تكافئ النقصان في الوزن.

الحل:

$B_{tot}(A,Z)=\Delta E= 931[(1.0081437)Z+1.0089830(A-Z)- {}^{A}_{Z}M]MeV$

$= 41.304754MeV=41.304*10^6ev$

$1ev = 1.6*10^{-19}\ J$

$\Delta E= 41.30 *10^6*1.6*10^{-19}$ Joule= $*10^7$ erg

مثال 6: اذا علمت ان كتلة اليورانيوم $^{235}_{92}U$ في حالة السكون هي 235.11704u احسب:
1- طاقة الربط بين الجسيمات ومعدل طاقة الربط بوحدات Mev ، جول
2- ماهي الطاقة اللازمة لتشتت 1غم من اليورانيوم $^{235}_{92}U$ الى مركباتة معبرة بالوحدات Mev

مثال7: احسب طاقة الربط النووية ومعدلها للنوى التالية :

$^{4}_{2}He$,$^{8}_{4}Be_4$, $^{9}_{4}B_5$, $^{10}_{4}B_6$,$^{12}_{6}C_6$

مثال8:/ اذا كانت زيادة الكتلة mass excess (عندما يعطى هذا المصطلح نستخدم كتلة ذرة الهيدروجين) لنواة $^{40}_{20}Ca_{20}$ تساوي ($-37.4108*10^{-3}$amu) فما طاقة الترابط النووية الكلية لهذه النواة وما معدل طاقة الترابط للنيوكليون الواحد؟

مثال9/ استخدم المعادلة شبة العملية للكتلة لحساب فرق الكتلة بين النواتين $^{64}_{29}Cu$, $^{64}_{30}Zn$.

مثال10:/ ما مقدار الطاقة اللازمة لازالة نيوترون من نواة $^{41}_{19}K$ التي كتلتها الذرية تساوي 40.974856 amu اذا علمت ان كتلة $^{40}_{19}K$ الذرية تساوي 39.976709 amu وان كتلة النيوترون هي 1.008665 amu .

مثال11:/ ما مقدار الطاقة التي ستتحرر عندما يتحد ديوترونان لتكوين جسيم الفا,
$^{2}_{1}H+{}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He+$ energy

حيث كتلة $^{2}_{1}H$ تساوي 2.01474amu وكتلة $^{4}_{2}He$ تساوي 4.00387 amu .

مثال12:/ على اساس نموذج القشرة وباعتبار تفاعل البرم مع المدار ماهي التسميات الطيفية للنوى التالية $^{11}_{6}C^1$,$^{37}_{32}Ge$. ثم احسب قيمة الزخم الزاوي وقارن لكل نواة مع تلك المقاسة عمليا وهي J^{π} for $^{37}_{32}Ge = 9/2^+$, J^{π} for $^{11}_{6}C =3/2$.

For $^{11}_{6}C$; N=11-6 = 5

مثال7: ماهي الطاقة اللازمة لتشتت 0.2gm من الليثيوم $^{7}_{3}Li$ علما ان , $M_p=1.0072766u$,$M_n=1.008987u$,$M(7,3)=7.018224$

النواة ويؤدي الى رفعه الى مستوي طاقة خالي اعلى من مستواه الاصلي فيسبب خروج هذا النيوكلون خارج النواة ويسمى هذا التفاعل **بالتفاعل المباشر**.

ان الحالة الاكثر تعقيدا هي حالة عدم خروج النيوكليون المتصادم اعلاه خارج النواة . ان النيوكليون الساقط او النيوكليون المتصادم معه سوف يتفاعل مع نيوكليون اخر في النواة وبهذا يرفعه الى مستوي اخر خالي . ان هذه العملية تجعل النواة في حالة **تهيج جماعية**. ويمكن في هذه الحالة خروج احد النيوكليونات من النواة اما في حالة عدم خروج احد النيوكليونات الثلاث خارج النواة فان هذه النيوكليونات سوف تتفاعل مع بقية النيوكليونات الموجودة في النواة الى ان تصل النواة الى حالة يتم فيها اقتسام الطاقة بين جميع النيوكليونات الموجودة كما هي الحال في النواة المركبة.

تطبيق قوانين الحفظ:

نفرض ان نتيجة القصف هو دخول جسيم نووي (a) في النواة (X) وحصيلة التفاعل هو خروج جسيم نووي (b) تاركا النواة (Y) ويمكن كتابة هذا التفاعل كما يلي :

$$a + X \longrightarrow b + Y \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

حيث (a) هو الجسيم القاصف او القذيفة. و (X) تسمى نواة الهدف.

(b)هو ناتج التفاعل الخفيف ويكون اما بروتون او نيوترون او ديترون او جسيم الفا اوكاما

(Y)هو ناتج التفاعل الثقيل وهو النواة الناتجة بعد التفاعل ويمكن التعبير عن المعادلة (2) بطريقة مختصرة بالرمز :

$$X(a,b)Y) \quad \ldots\ldots(3)$$

حيث تكون احدى نواتج التفاعل جسيم خفيف عادة والاخر جسيم اثقل *وذلك لان طاقة ارتباط الجسيمات بالنواة تؤثر على سير التفاعل*. ان كتلة b و Y في بعض الاحيان تكونان متقاربتين كما هي الحالة في تفاعلات الانشطار النووي(Spallation reaction or fission) او قد تكونان متساويتين.اما اذا كانت b تمثل فوتون اشعة كاما فاننا في هذه الحالة نتحدث عما يسمى بتفاعل الاقتناص(Capture reaction)حيث تكون Y هي النواة المركبة.

وفي اغلب الاحيان التي يكون فيها عدد نواتج التفاعل اكثر من جسيمين يكون من الممكن وصف التفاعل بانه عبارة عن سلسلة سريعة لعدة تفاعلات ينتج عن كل منها جسيمان اي ان:

$$a+X \rightarrow b_1 + Y_1$$
$$Y_1 \rightarrow b_2 + Y_2$$
$$Y_2 \rightarrow b_3 + Y_3 \quad \ldots\ldots(4)$$

الفصل الثالث

التفاعلات النووية (Nuclear Reactions) :

في الفترة الواقعة بين 1919 عندما اعلن رذرفورد عن اكتشافه للتفاعل النووي الصناعي

$$^{4}_{2}He + ^{14}_{7}N \longrightarrow ^{1}_{1}H + ^{17}_{8}O \quad \ldots(1)$$

وعام 1939 عندما اعلن نبأ اكتشاف الانشطار النووي من قبل(هان وستراسمان) من جهة ومايتنر وفريش من جهة اخرى (Hahn and strassman, Meitner and Frisch) تم التعرف على جميع العمليات النووية التي يمكن اثارتها بقصف نووي ذو طاقة بحدود (10 MeV) ومنذ ذلك التاريخ فأن طاقة المقذوفات قد زيدت الى حوالي (10 GeV) حيث تم اكتشاف عدد كبير من التفاعلات النووية.

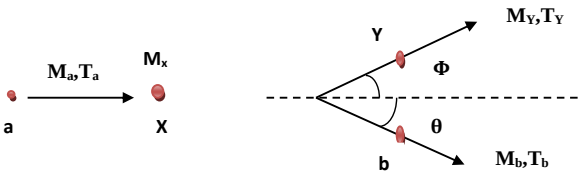
من خلال دراسة النشاط الاشعاعي امكن الحصول على معلومات عديدة تتعلق بالبناء النووي وطريقة اخرى للحصول على هذه المعلومات بواسطة دراسة تأثير قصف هذف نووي بسيل من الجسيمات النووية او اشعة كاما ومن ثم دراسة تأثير القصف على تركيب النوى وتسمى هذه العملية (بالتفاعل النووي) ويعرف بأنه عملية يتغير خلالها تركيب او طاقة النواة الهدف وتتم بقصف النواة بجسيم نووي او اشعة كاما الهدف منها هو دراسة الاطياف النووية , ويكون على نوعين اندماج او انشطار نووي.

ان النظريات التفصيلية للتفاعلات النووية قد تم وضعها اعتمادا على نموذجين يبدوان متناقضين للتركيب النووي هما نموذج قطرة السائل ونموذج القشرة.

ان احدى النظريات تفترض ان المقذوفة النووية التي ترتطم بالنواة سوف تتفاعل بشدة مع جميع النيوكلونات الموجودة فيها وتتشارك معها في الطاقة التي تحملها بحيث تتم هذه العملية بسرعة وان النواة الجديدة المتكونة عن هذه العملية سوف تتحلل بطريقة لا تعتمد على الكيفية التي تم انتاجها بواسطتها.

اما النظريات التي تعتمد على نموذج القشرة فأنها تفترض بأن النيوكليون الساقط سوف يتفاعل مع النواة عن طريق تفاعله مع جهد نموذج القشرة وان احتمال امتصاصه لتكوين نواة مركبة هو قليل . ان هذين الاتجاهين في دراسة التفاعلات النووية يمكن توحيدها في نظرية واحدة ايضا هي ان اي تفاعل نووي حسب نظرية وايسكوف يمكن ان ينجز على مراحل عديدة متسلسلة .

افترض (Feshbach) ان الخطوة الاولى في عملية الامتصاص هي عبارة عن عملية تصادم جسمين ببعضهما او بمعنى اخر فأن الجسيم الساقط سوف يتفاعل مع نيوكليون واحد في



شكل يمثل التفاعل النووي بالنظام المختبري

وللتخلص من الزاوية φ فاننا نعوض عن $Mv=(2MT)^{1/2}$ لكل من الجسيمات ونعيد كتابة المعادلات بالشكل:

$$(M_aT_a)^{1/2} - (M_bT_b)^{1/2}\cos\theta = (M_YT_Y)^{1/2}\cos\varphi$$

$$(M_bT_b)^{1/2}\sin\theta = (M_YT_Y)^{1/2}\sin\varphi \qquad \ldots\ldots\ldots(10)$$

وبتربيع المعادلتين وجمع النواتج نحصل على :

$$M_aT_a - 2(M_aT_a\,M_bT_b)^{1/2}\cos\theta + M_bT_b = M_YT_Y \quad \ldots\ldots(11)$$

وباستخدام المعادلة (6) فاننا يمكننا التخلص من T_Y لنحصل على قيمة Q:

$$Q = T_b\left(1+\frac{M_b}{M_Y}\right) - T_a\left(1-\frac{M_a}{M_Y}\right) - \frac{2}{M_Y}(M_aT_aM_bT_b)^{\frac{1}{2}}\cos\theta$$

وهذه المعادلة تسمى بمعادلة Q(Q equation).

ان الحالات خاصة المهمة لهذه المعادلة هي عندما θ=90 والحالة التي تكون فيها Ta=0(اي عندما تكون الطاقة الحركية للقذيفة =0). ان الحالة الاخيرة ممكنه فقط عند استخدام النيوترونات كقذائف لان *النيوترون لا يمتلك شحنة لذلك لايعترض مع جهد كولوم الكهروستاتيكي في النواة* . اما بالنسبة للقذائف المشحونة فلا يمكن ان يحدث تفاعل نووي في حالة (Ta = 0) لان حاجز كولوم يمنع دخول جسيمات مشحونة طاقتها الحركية مساوية للصفر الى النواة .

أنواع التفاعلات النووية (Types of nuclear Reactions) :

يمكن تصنيف التفاعلات النووية اعتمادا على الجسيم القاصف او طاقة القصف او نواة الهدف او نواتج التفاعل فيمكننا تصنيف التفاعل وفق الجسيم القاصف الى :

ان التفاعل في المعادلة (1)هو مثال واضح للتفاعل في المعادلة (2) ويمكن ملاحظة ان عدد البروتونات او النيوترونات يبقى ثابتا قبل وبعد التفاعل.وعليه يمكن تطبيق قانون حفظ الزخم الخطي لحساب طاقة التفاعل Q.

قانون حفظ الزخم الخطي ـ وحساب طاقة التفاعل:

في اي تفاعل نووي يجب ان يحقق قانونا حفظ الكتلة والشحنة اي ان عدد البروتونات والنيوترونات يجب ان تكون متساوية في طرفي معادلة التفاعل .وبما ان عدد البروتونات يبقى ثابتا فان جميع الكتل يمكن ان تكتب على اساس انها تمثل الكتل الذرية وعلى اعتبار ان الفروق في طاقات ارتباط الالكترونات الذرية هي في حدود eV بحيث يمكن اهمالها وعليه فان تطبيق قانون حفظ الطاقة على التفاعل (a+X=b+Y) بدلالة الكتل الذرية يمكن كتابته بالشكل :

$$M_a c^2 + T_a + M_x c^2 = M_b c^2 + T_b + M_y c^2 + T_y \quad \ldots..(5)$$

حيثT هي الطاقة الحركية لكل من a, b,Yبالنسبة لاحداثيات المختبر وكتل كل من a, X هي في الحالة الارضية و (Mc^2) تمثل مكافئ الطاقة الكلية للكتلة.

يعرف الفيض الطاقي للتفاعل النووي(Q)بانه الفرق في الطاقة الحركية قبل وبعد التفاعل ويكتب :

$$Q = T_b + T_y - T_a \qquad \ldots\ldots..(6)$$

$$Q = [\,M_a + M_x - (M_b + M_y)\,]\,c^2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(7)$$

فأذا كانت قيمة Q موجبة فالتفاعل النووي ذو فيض طاقي اي يعطي طاقة ويسمى في هذه الحالة (exoergic) واذا كانت Q سالبة فيكون ذو امتصاص طاقي اي سوف ياخذ طاقة ويسمى(endoergic) ولايمكن حدوث تفاعل نووي الا عندما تنطلق كل من b, Y بطاقة موجبة اي ان:

$$T_b + T_y \geq 0$$

$$Q + T_a \geq 0 \qquad \ldots\ldots\ldots(8)$$

ومع ان هذا الشرط هو ضروري لحدوث اي تفاعل الا انه يبقى غير كاف.ان قيمة Q بالنسبة لاي تفاعل هي كمية مهمة ويمكن ايجادها بواسطة الطيف الكتلي للجسيمات المشتركة في التفاعل كما في المعادلة(7) او بقياس الطاقات الحركية معادلة(6)وكالاتي:

في الحالة العامة للتفاعل النووي ينطلق الجسيم b بأتجاه يصنع زاوية **θ** مع اتجاه القذيفة a وبأستخدام قانوني حفظ الزخم والطاقة من الشكل ادناه نحصل :

$$M_av_a = M_Yv_Y\cos\varphi + M_bv_b\cos\theta$$

$$0 = M_Yv_Y\sin\varphi - M_bv_b\sin\theta \quad \ldots\ldots..(9)$$

أشكال التفاعلات النووية:

أولا: التشتت او التطاير : في هذه الحالة تكون (Y=X ,b=a) ويعبر عنه بالرمز (X(a,a)X) القذيفة (a) تكون على شكل نيوكلون او على شكل نواة خفيفة مثل الديترون او جسيم الفا ويجب ان تكون طاقة القصف للقذيفة المشحونة كافية للتغلب على جهد كولوم الكهروستاتيكي في النواة ويمكن الحصول على هذه الطاقة بواسطة المعجلات النووية كالسايكترون او مولد فاندكراف ومثال نموذجي على التشتت هو :

$^{26}Mg + P \longrightarrow {}^{26}Mg + p$

ويكون على نوعين:

1 – التشتت (الاستطارة) المرنة: اذا كانت النواة الناتجة في الحالة الارضية كما في التفاعل اعلاه ($^{26}Mg(p,p)^{26}Mg$) او ($^{14}N(p,p)^{14}N$) ويسمى هذا بتفاعل الاستطارة المرنة للبروتون.

2 – الاستطارة غير المرنة: اذا تركت النواة الناتجة ^{4}N او ^{26}Mg, بحالة متهيجة وترجع الى حالتها الارضية بأنبعاث اشعة كاما وفي هذه الحالة يوجد اختلاف في طاقة مركز الثقل للجسيم الخفيف الناتج عن التفاعل والجسيم القاصف ومثال على الاستطارة غير المرنة للبروتون هو: ($^{14}N(P,P)^{14}N^{*}$) .

ثانيا: التفاعل النووي (P,α) في هذه تكون القناة الناتجة (الطرف الايمن للتفاعل b+Y) لاتساوي القناة الابتدائية (a+X) ومثال على ذلك:

$^{26}Mg + p \longrightarrow {}^{23}Na + \alpha$

ويرمز له ($^{26}Mg\ (p,\alpha)\ ^{23}Na$) وكذلك ($^{14}N\ (P,\alpha)\ ^{12}C$ or $^{12}C^{*}$) .

ثالثا: الاقتناص المشع : في هذه الحالة تقتنص النواة نيوكلون ذو طاقة واطئة وينتج منها نواة مركبة في حالة تهيج عالية وترجع الى الحالة الارضية بأنبعاث اشعة كاما كما في المثالين :

$^{26}Mg + p \rightarrow {}^{27}AL + \boldsymbol{\gamma}$ or $^{14}N\ (P,\gamma)\ ^{15}O$ or $^{15}O^{*}$

ويدعى هذا بتفاعل اقتناص البروتون

رابعا: التهدم الفوتوني: في هذه الحالة تقصف النواة بأشعة كهرومغناطيسية ذات طاقة عالية مثل اشعة كاما وعندها تتطاير شظايا من النواة كالنيوكليونات او الديترون او جسيم الفا كما في التفاعل :

$^{27}AL\ (\boldsymbol{\gamma},P)\ ^{26}Mg$, $^{27}AL + \boldsymbol{\gamma} \rightarrow {}^{26}Mg + P$, $^{14}N\ (\boldsymbol{\gamma},P)\ ^{13}C$ or $^{13}C^{*}$

ويسمى ايضا هذا التفاعل **بالتفاعل النووي الضوئي.**

ومن هذا نلاحظ بأن التهدم الفوتوني والاقتناص الاشعاعي هما عمليتان عكسيتان.

1 – تفاعلات الجسيمات المشحونة (charged – Particle reactions) والناتجة عن البروتونات (P) وديترونات (d) وجسيم الفا (α) و(C^{12}) و(O^{16}) .ويسمى التفاعل الثاني والثالث بتفاعل الايونات الثقيلة.

2 – تفاعلات النيوترونات (Neutron reaction) .

3 – التفاعلات النووية الضوئية (Photo nuclear reactions) الناتجة عن اشعة كاما.

4 – التفاعلات المحفزة بالالكترونات (Electron – induced reactions) .

كما يمكن تصنيف التفاعلات النووية بالاعتماد على طاقة القصف وكما يلي :

1 – الطاقات الحرارية (Thermal energies $\approx \frac{1}{40}$ eV).

2 – الطاقات فوق الحرارية (Epi Thermal energies ≈1eV) .

3 – طاقات النيوترونات البطيئة (Slow – neutron energies ≈ 1keV) .

4 – طاقات النيوترونات السريعة (Fast – neutron energies ≈ 0.1-10MeV).

5 – الطاقات الواطئة للجسيمات المشحونة (Low – energy charged Partiches ≈0.1 – 10MeV) .

6 – الطاقات العالية (High – energy ≈ 10 – 100 MeV) .

أما التصنيف وفق نواة الهدف :

1 – النواة الخفيفة (Light nuclei , if A ≤ 40) .

2 – النوى المتوسطة (Medium- weight nuclei , if 40<A <150).

3 – النوى الثقيلة (Heavy nuclei , if A ≥ 150).

اذا كان الجسيم الخفيف الناتج عن التفاعل مطابقا للجسيم القاصف من حيث النوع وطاقة مركز الثقل فأن التفاعل في هذه الحالة يسمى الاستطارة المرنة (elastic scattering) اي (Y=X,b=a) ويعبرعنه ب (X(a,a)X) مثال على ذلك:

$^{26}Mg + P \longrightarrow {}^{26}Mg + p$

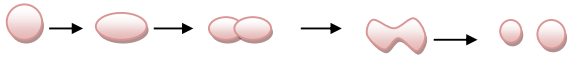
ويعبر عنه بالرمز ($^{26}Mg\ (p,p)\ ^{26}Mg$) وتكون النواة (^{26}Mg) في الحالة الارضية ويسمى هذا الشكل من التفاعلات النووية **بالتشتت او التطاير**.

اما اذا تركت النواة (^{26}Mg) بحالة متهيجة سمي هذا النوع **بالتشتت غير المرن** (Inelastic scattering) وترجع النواة الى حالتها الارضية بأنبعاث اشعة كاما ويسمى هذا **بتفاعل الاقتناص.**

وفي حالة كون نواتج التفاعل ذوات كتل متقاربة فأننا نسمي التفاعل **(تفاعل الانشطار** (fission reaction) .

فأذا كانت درجة التشوه صغيرة فأن قوة الشد السطحي ستكون قادرة على الاثتين وبهذه الحالة تتذبذب النواة شاقوليا وافقيا وتفقد اخيرا طاقتها المتهيجة على شكل اشعة كاما.

اما اذا كانت درجة التشويه عالية جدا فسوف لايكون بمقدور قوة الشد السطحي ان تعيد المجموعات البروتونية المنفصلة عن بعضها بمدى بعيد الى وصعها الاصلي وتكون النتيجة انقسام النواة الشطرين وتدعى النواتين الجديدتين الناتجتين من الانشطار بالشظايا :



الانشطار النووي استنادا الى نموذج القطرة السائلة

ان الشظيتين تكون على العموم غير متساويتين.

تمتلك النوى الثقيلة نسبة النيوترونات الى البروتونات اكبر من النوى الخفيفة , اي انها تحتوي على زيادة في عدد النيوترونات ولاجل تخفيض هذه النسبة فأن نوى الانشطار تبعث (3→2) نيوترون حال تكوينها وتعقبها انطلاق جسيمات بيتا حتى تصل الى درجة الاستقرار.

ان الانشطار النووي يحدث عندما تمتص النواة الثقيلة طاقة تهيج كافية بحدود (5MeV) تجعلها تتذبذب بعنف . ان بعض نوى معينة بالاخص ($^{235}_{92}U$) بمجرد امتصاصها نيوترون اضافي واحد فأنها تتذبذب بشدة الى درجة تؤدي الى انقسامها الى شطرين ونوى اخرى مثل ($^{238}_{92}U$) تحتاج الى طاقة تهيج اكبر من الطاقة الرابطة المتحررة عند عملية امتصاص نيوترون اضافي واحد لاجل الانقسام ويحدث الانقسام فقط عندما تقصف بنيوترونات سريعة تزيد طاقتها الحركية على (1MeV) .

يمكن ان تحدث عملية الانشطار النووي بالتهيج بوسائل اخرى اضافة الى الاقتناص النيوتروني مثلا بواسطة القصف البروتوني أو بأشعة كاما , ان الشئ المذهل في عملية الانشطار النووي هو الطاقة الهائلة المتحررة من الانشطار.

خامسا: الانشطار النووي المحتث: عند اقتناص النواة نيوكليون تتحول الى نواة ثقيلة متهيجة جدا وتنشطر الى شظيتين متقاربتين في الكتلة وتتبع هذه العملية انطلاق عدد من النيوترونات كما في المعادلة :

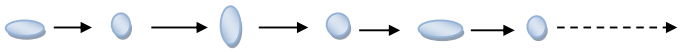
$$^{234}_{92}U + n \rightarrow Y_1 + Y_2 + 3n$$

حيث ان النواة اقتنصت نيوترون مبطأ وانشطرت الى شظيتين (Y_1, Y_2) مثل ($^{93}_{38}Sr$, $^{140}_{45}Xe$), وانطلاق ثلاثة نيوترونات ويمكن للنيوترونات الثلاثة ان تبطأ وتقتنص ويحدث الانشطار المحتث وتعاد الكره وتسمى هذه العملية **(التفاعل المتسلسل)**.

الانشطار النووي: Nuclear fission

في سنة 1939 اكتشف هان وستراسمان Hahn and strassman طريقة جديدة لانتاج العناصر القلوية بواسطة تشعيع اليورانيوم بالنيوترونات .ولتفسير هذه الظاهرة اقترح ماينز Maines وفريش Fresh بأن عملية امتصاص النيوترونات من قبل اليورانيوم تجعل نواة اليورانيوم بحالة متهيجة جدا تؤدي الى شطرها الى شظيتين لهما كتلتين متقاربتين .

يعتبر الانشطار النووي نوع اخر من انواع التفاعلات النووية ويمكن تحليله بموجب نظرية قطرة السائل , ففي هذا التفاعل تنشطر نواة ثقيلة الى نواتين خفيفتين وللمقارنة نجد انه عند تهيج قطرة سائل الى درجة كافية فأنها تتذبذب بأشكال مختلفة حيث تتقلص وتنبسط وتأخذ الاشكال التالية بالتتابع وهي الشكل البيضوي الافقي ثم الكروي ثم البيضوي العمودي ثم الكروي ثم البيضوي الافقي مرة اخرى وهكذا:



ان القوة المحافظة للشد السطحي تحاول دائما اعادة الشكل الكروي للقطرة ولكن استمرارية حركة الجزيئة تجعلها تجتاز الشكل الكروي المنتظم وتتخذ الشكل المشوه المعاكس. عند اعتبار النوى تتصرف كالقطرة السائلة لها شد سطحي فأنها سوف تتذبذب في حالة التهيج مثل القطرة السائلة وكذلك فأن هذه النوى تتعرض الى قوة ممزقة بعيدة المدى ناتجة من قوة التنافر الكهروستاتيكي بين البروتونات داخل النواة تحاول تمزيق النواة .

عندما تتشوه النواة عن الشكل الكروي فأن القوة المحافظة ذات المدى القصير للشد للشد السطحي يجب ان تتصدى للقوة التنافرية ذات المدى البعيد وكذلك للعزم القصوري لمادة النواة