محاضرات الفيزياء النووية 2023-2024

الفصل الاول الخواص الاساسية للنواة

المحاضرة 1

1- النواة: : Nucleus

للنواة الذرية هناك خواص ثابتة لا تعتمد على الزمن تسمى بالخواص الاستاتيكية مثل الكتلة والشحنة والحجم والكثافة والزخم الزاوى والذى يدعى بالبرم النووي والتماثل والعزم الكهربائي والعزم المغناطيسي اما الخواص التي تعتمد علي الزمن فتسمى بالخواص الديناميكية مثل الانحلال الإشعاعي الطبيعي او التحول الاصطناعي (التفاعلات النووية).

وللنوى حالات اثارة(تهيج) تعامل طاقتها ضمن الصنف الاول من الخواص في حين يعامل انحلالها ضمن الصنف الثاني من الخواص

تحتوي نواة اي ذرة من الجسيمات على بروتونات ونيوترونات ويطلق على كل منهما بصورة منفردة بالنكليون Nucleon ويرمز للنواة بشكل عام: ${}^{A}_{Z}X_{N}$ حيث ان: A العدد الكتلي , Z عدد البروتونات داخل النواة او عدد الالكترونات خارج النواة) , N عدد النيوترونات.

2- الكتلة والشحنة

. من المعروف ان العدد الكتلي للنواة هو مجموع البروتونات والنيوترونات داخل النواة وعدد البروتونات يمثل العدد الذري , وعدد النيوترونات يمثل الفرق بين العدد الكتلي والعدد الذري حيث يرمز للعدد الكتلي بالرمز A وعدد البروتونات بالرمز P والعدد الذري بالرمز Z والعدد النيوتروني بالرمزN حيث ان:

$$A=N+Z$$

لذا يمكن تمثيل النواة بهذه الاعداد المشار إليها بالشكل ${}^{A}_{Z}X_{N}$ ولما كانت النواة مكونة من البروتونات والنيوترونات فان كتلتها M مساوية الى $M \approx Zm_p + Nm_n$ حيث ان m_p تمثل كتلة البروتون و m_n تمثل كتلة النيوترون وكما هو معرف ان البروتون موجب الشحنة والنيوترون متعادل الشحنة والذرة عادة تكون متعادلة الشحنة كون الالكترونات خارج تكون سالبة الشحنة وتقاس كتلة النواة بواسطة جهاز المطياف الكتلي , من الجدير بالذكر إن إشارة التقريب بين الكتلة و كتل مكوناتها يدل على ان هناك فرق بين كتلة النواة وكتل مكوناتها والذي يطلق عليه بالنقص الكتلي(العيب الكتلي) ويرمز له بالرمز Δ حيث يساوي M- A والنقص الكتلي يعتبر هو المسؤول عن طاقة الربط النووي .تمتلك النواة شحنة موجبة تحسب من عدد البروتونات(العدد الذري) الموجودة داخل النواة وعلية فأن شحنة النواة تساوي Z e اي العدد

الذري مضروبة في شحنة الإلكترون فعلى سبيل المثال ان شحنة نواة الهيدروجين تساوي ze+(اي 1e+)

بعض الوحدات المستعملة في الفيزياء النووية:

1- عامل الزمن:/التفاعلات النووية وتحللات النشاط الاشعاعي تحدث في فترات زمنية تتراواح مابين اجزاء من الثانية الى ملايين السنين مثلا هناك تفاعلات تحدث ضمن حدود 10^{-20}sec ,تحلل كاما يحدث مابين 10^{-9}-10^{-12} وتحلل الفا وبيتا من دقيقة الى ملايين السنين.

هناك بعض النوى يكون تحللها الاشعاعي من الحالة المتهيجة الى الحالة المستقرة يستغرق زمن مقداره 10^{-20}sec مثل البريليوم ^{8}Be . اما في التفاعل النووي فأنها تحدث ما بين 10^{-9}-10^{-12} sec ويدخل ضمن تحلل اشعة كاما الكهرومغناطيسي . هنالك انحلالات نووية تحدث في فترة زمنية قصيرة اقل او اكبر من تحلل كاما وهي تحلل الفا وبيتا' وهذة التحللات الفترة الزمنية لها تستغرق من الدقائق والساعات والسنين او حتى ملايين السنين (العناصر المشعة الطبيعية الموجودة في التربة)

2- فيرمي(Fermi): وهي تعادل $10^{-15}m$ فمثلا الابعاد النووية تتراوح بين 1fm-7fm وان مدى القوة النووية يكون بحدود 1-2fm

3-البارن (Barn): وتستخدم للتعبير عن المقاطع العرضية للتفاعلات النووية بصورة عامة والبارن يعادل $10^{-28}m^2$

4- وحدة الكتل الذرية (atomic mass unit): ويرمز لها بالرمز amu او u, تستخدم في قياس الكتل الذرية والنووية وهي تعادل $1.66 \times 10^{-27}\ kg$

- **الطاقة النووية**

تقاس الطاقة النووية بوحدات المليون الكترون فولت وطاقة التحلل النووي تقع ضمن مدى 1Mev وهناك تفاعلات نووية تحدث بطاقات واطئة وطاقاتها الحركية من مرتبة 10 Mev

- وحدة قياس الكتلة : تقاس الكتلة بوحدات الكتل الذرية (u)

وتعرف على انها 1/12كتلة مول واحد بالكيلوغرام من الكاربون 12 مقسوما على عدد افوكادروا والذي يساوي: $6.022x10^{23}$ atom/mol اي ان:

كتلة مول واحد من الكاربون = 0.012 kg

$$1\ u=m(^{12}c)/12=(1/12)\ M_{12}/N_A=1.6X10^{-27}KG$$

ومن الجدير بالذكر عند دراسة التحلل النووي والتفاعلات النووية فأننا نتعامل مع طاقة الكتلة وليس مع الكتلة نفسها اي ان:

$1u= 931.502\ Mev/c^2$

حيث ان c^2 يسمى بمعامل التحويل اي تحويل الطاقة الى كتلة وبالعكس

مليون الكترون فولت (Mev): وهو يعبر عن وحدة الكتلة الذرية بدلالة مكافئ طاقة سكونها , فبالنسبة لوحدة كتلة ذرية واحدة, ومن تطبيق معادلة تكافؤ الكتلة والطاقة لاينشتاين:

$$E = m_0c^2 = (1.66 \times 10^{-27}kg)(3 \times 10^8 m/s)$$

$$E = 1.49 \times 10^{-10}j$$

وبما ان يساوى $1eV = 1.6 \times 10^{-19}J$

$$E = 931.5Mev$$

وغالبا ما يعبر عن الكتلة في الفيزياء النووية بدلالة وحدة Mev/c^2

$1u=931.5Mev/c^2$

مثال: احسب طاقة كتلة السكون للالكترون بوحدة MeV مع العلم ان كتلة الالكترون تعادل $9.1 \times 10^{-31}Kg$ (واجب بيتي)

ملاحظة: الالكترون فولت eV هي الطاقة التي تكتسبها وحدة الشحنة بالكولوم عند تعجيلها خلال فرق جهد مقداره فولت واحد وعليه فان:

$$1eV = 1.6 \times 10^{-19}\ C \times 1V = 1.6 \times 10^{-19}J$$

- بعض المصطلحات النووية المهمة:

سوف نتطرق في هذا الفصل الى الخواص الثابتة فقط, اما الخواص الحركية فسنناقشها في فصول لاحقة, وقبل التطرق الى هذة الخواص لابد من البدء ببعض المصطلحات والتعاريف التمهيدية والوحدات المستخدمة في الفيزياء النووية والتي يتكرر ذكرها في جميع الفصول .

1- العدد الذري Z(Atomic number): يمثل عدد البروتونات داخل النواة ويساوى عدد الالكترونات خارجها, وبذالك فان الذرة متعادلة كهربائيا.
2- العدد الكتلي A(mass number): هو اقرب عدد صحيح من الوزن الذرى الدقيق لأي نواة , فمثلا بالنسبة لنظير الهيدروجين ^1H يكون A=1, في حين يكون الوزن الذرى الدقيق للهيدروجين مساويا 1.00785 a.m.u وكذالك بالنسبة لليورانيوم $^{238}_{92}U$ حيث A=238في حين وزنه الذري الدقيق يساوى 238.050941 a.m.u وهكذا لبقية النظائر.

3- العدد النيوتروني N(Neutron number):وهو عدد النيوترونات الموجودة في كل نواة وهو جسيم عديم الشحنة.
ملاحظة: ان مجموع العدد الذريZ والعدد النيوترونىN يكون مساويا للعدد الكتلي Aاي ان :

A=Z+N 1

وهكذا عندما نريد ان نشير الي نواة معينة, فأننا نستخدم الصيغة الاتية بصورة $^{A}_{Z}X_{N}$ حيث Xيمثل رمز العنصر الكيميائي وZالعدد الذري و Nالعدد النيوتروني, وفي بعض الاحيان لا يذكر العدد النيوترونى الذي يمكن إيجاده من المعادلة رقم 1

4- النيوكليون(nucleon): ويقصد به بروتون او نيوترون
5- النيوترون (Neutron): هو احد مكونات النواة متعادل الشحنة(Z=0) وعدده الكتلي A=1تم اكتشافه عام 1932من قبل العالم جادويك وذالك نتيجة تجارب عديدة استخدمت فيها جسيمات الفا المنبعثة من مادة البولونيوم-209 لقذف هدف من البرليوم -9وسياتي شرح ذالك بالتفصيل في فصول لاحقة , الوزن الذري الدقيق المقاس للنيوترون هو 1.00898 a.m.u وبرمه مساويا للنصف.
6- البروتون(Proton): ايضا هو احد مكونات النواة كتلته (وزن ذرى دقيق)يساوى 1.00758 a.m.uوله شحنة تساوي شحنة الالكترون ($+1.6 \times 10^{-19}c$).

7- الالكترون(Electron):جسيمه مشحونة بشحنة سالبة تساوى× 1.6 $10^{-19}c$بالكولوم. الالكترون ذو كتلة صغيرة جدا بالمقارنة مع كتلة البروتون حيث $m_p = 1836m_e$ لذا يمكن اهمال كتلة الالكترون عند الحديث عن كتلة الذرة بصورة عامة(عدا الحالات التي تتطلب ادخال كتلة الالكترون في الحساب).

8- البوزترون (positron): هو الكترون مشحون بشحنة موجبة وله نفس كتلة الالكترون السالب.

9- الفوتون (photon): هو وحدة كم الاشعة او الطاقة الكهرومغناطيسية التي تكون علي شكل ضوء او اشعة سينية او اشعة كاما ويسير بسرعة الضوء ويحمل طاقة تعطي بالعلاقة $E = h\nu$.
10- النويدة nuclide: عينة نووية ذات عدد ذرى معين Z وعدد نيوترونى معين N والرمز الاكثر شيوعا لتمثيل النويدة هو:

$$^{A}_{Z}X \; or \; A_X \; or \; X - A$$

حيثX تمثل الرمز الكيميائي للعنصر
A: العدد الكتلي

Z: العدد الذرى

N: العدد النيوترونى

وقد تهمل N باعتباره معروفا ويساوى الفرق بين Z, A اي ان N=A-Z, كما وقد تهمل كتابة Z باعتبار ان رمز العنصر X يدل علي العدد الذرى.

مثال: $Li-7 or\ 7_{Li} or\ {}^{7}_{3}Li$

11-النظائر(Isotopes):هي نويدات لها نفس العدد الذرىZ ,لذا فهي تمثل نفس العنصر , لكنها تختلف عن بعضها بالعدد النيوترونىN , وتبعا لذالك تختلف عن بعضها بالعدد الكتلي A ومثال علي ذالك نظائر الاوكسجين

$${}^{14}_{8}O, \dots\dots\dots\dots, {}^{19}_{8}O$$

$${}^{1}_{1}H, \dots\dots\dots\dots, {}^{3}_{1}H$$

12-الايزوبارات(Isobars): نويدات تختلف عن بعضها البعض بالعدد الذري Z وتبعا لذالك فهي تمثل عناصر مختلفة , كما وتختلف بالعدد النيوترونى N, لكن لها نفس العدد الكتليA.ومثال علي ذالك

$${}^{8}_{3}Li, {}^{8}_{5}B$$

13-الايزوتونات(Isotones): نويدات عناصر مختلفة لها نفس العدد النيوترونىN

وتختلف بالعدد الذرى Z وتبعا لذالك فهي تختلف عن بعضها بالعدد الكتلي A

$${}^{14}_{6}C,\ {}^{15}_{7}N, {}^{16}_{8}O$$

14-الايزوميرات (Isomers): نويدات عنصر معين وفي حالة متهيجة ولها عمر نصف معين وطويل نسبيا ويشار لها بالرمز :

X_N^*

15-الميزونات(Mesons): جسيمات متوسطة الكتلة, اي جسيمات كتلة كل منها اكبر من كتلة الالكترون واقل من كتلة البروتون. ولقد تم افتراض وجود الميزونات باعتبارها المسؤولة عن التجاذب النووي بين البروتون والبروتون او بين البروتون والنيوترون او بين النيوترون والنيوترون. ولقد تم اكتشاف العديد منها في المختبرات ومنها:

أ- البايونات(Pions): π^+, π^-, π^0

ب- الكيونات (Kaons):K^+, K^-, K^0

16- النوى المرأتيه (mirror nuclides): هما ايزوبارات يكون العدد الذري z في احدهما مساويا للعدد النيوتروني في الاخرى

$$^{7}_{3}Li - ^{7}_{4}B), (^{11}_{5}B - ^{11}_{6}C)$$

جدول:قائمه بكتل بعض الانوية والجسيمات الشائعة

الجسيم	الرمز	الكتلة (U)	الشحنة
بروتون	P, $^{1}_{1}H$	1.007276	$+_e$
نيوترون	n , $^{1}_{0}n$	1.008665	0
الكترون	$e^-, B^-, {}^{0}_{-1}e$	0.0005486	$-_e$
بوزترون	$e^+, B^+, {}^{0}_{+1}e$	0.0005486	$+_e$
جسيم الفا	α, $^{4}_{2}He$	4.0015	$+_{Ze}$

الخواص الثابتة للنواة:

1- شحنة النواة (Nuclear charge): تعزى شحنة النواة الي شحنة بروتوناتها, حيث ان النيوترونات عديمة الشحنة, لذا فشحنة النواة تساوى العدد الذري Zمضروبا بشحنة البروتون ($q_p=1.6 \times 10^{-19}\ C$) حيث :

$$Q_N = Z \times 1.6 \times 10^{-19} Z$$

2-كتلة النواة (Nuclear mass):ان كتلة النواة M_N هي بالحقيقة اقل قليلا من مجموع كتل بروتوناتها ونيوتروناتها ,اي ان:

$$M_N < (ZM_P + Nm_n)$$

حيث m_p كتلة البروتون, m_n كتلة النيوترون, وبالحقيقة ان الفرق بين مجموع كتلة

البروتونات والنيوترونات وكتلة النواة يسمى بالعجز الكتلي Δ ويتحول الي طاقة لربط النيوكليونات مع بعضها داخل النواة. اي ان العجز الكتلي هو المسؤول عن الطاقة الرابطة النووية حسب علاقة اينشتاين $E = MC^2$

3-حجم النواة (Nuclear Size): ان اول محاولة لتحديد حجم النواة, او نصف قطر النواة, قد تمت من قبل رذرفورد والذي افترض تصادما راسيا وهميا بين جسيمة الفا والنواة فباقتراب الجسيمة من النواة فانها ستتباطأ نتيجة التنافر الكولومي بينهما الي ان تصل (جسيمة الفا) الي نقطة تكون فيها اقرب ما يمكن من النواة وعندها تتوقف عن الحركة وتتحول طاقتها الحركية T_α الي طاقة كامنة كهربائية E_p بشرط اعتبار النواة ساكنة خلال هذا التصادم حيث:

$$T_\alpha = E_p = \frac{k \times Z_e \times 2e}{R}$$

$$R = \frac{k \times 2e^2 z}{T_\alpha}$$

حيث R مسافة اقصر اقتراب من النواة وهي تمثل الحد الاعلى لنصف قطر النواة .

Z_e شحنة النواة

2eشحنة جسيمة الفا

ان استعمال الالكترونات وبعض الدقائق النووية الاخرى بدلا من جسيمه الفا في اجراء تجارب الاستطارة يعطي دقة اكثر, وقد ظهر ان نصف القطر الذي تبرز عندة التاثيرات النووية يمكن ان تكتب تقريبا كما يلي:

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

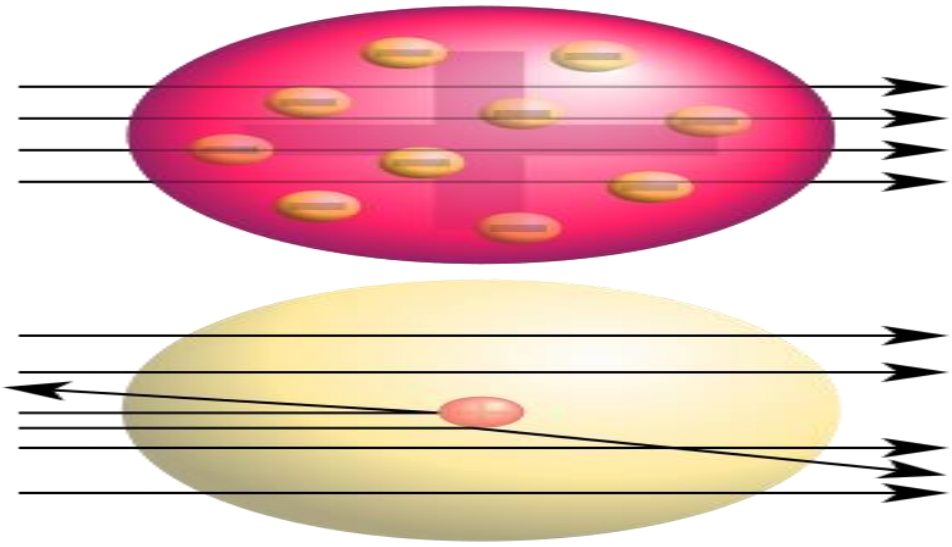
حيث ان R_0هو ثابت نصف القطر وياخذ القيم :

R_0=1.4 fm للجسيمات النووية

R_0=1.2 fm للالكترونات

تجربة قياس نصف قطر النواة

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



- ومن الشكل نلاحظ ان قسم قليل من جسيمات الفا يرتد الى الخلف عن حصول التصادم الرأسي مع نواة الذرة ,حيث يمتلك جسيم الفا طاقة كامنة في لحظة حصول التصادم حيث ان الطاقة الحركية للجسيم في هذة اللحظة تساوي الطاقة الكامنة .حيث ان شحنة جسيم الفا تساوي $2e$ وشحنة النواة تساوي ze وعليه فأن الطاقة الكامنة تساوي:

- $Ek=Ep=K(2e(ze))/r$

- حيث r مسافة اقرب اقتراب لجسيم الفا من نواة الهدف والتي يحصل فيها شذوذ قانون كولوم وبذلك تظهر اثار القوى النووية عند هذه المسافة ,والتي تعتبر مقياس لنصف القطر النووي . اي ان نصف القطر النووي يساوي:

- $r=k\,.\,2ze^2/E_K$

- حيث ان r تمثل مسافة اقرب اقتراب لجسيمة الفا لنواة الهدف والتي لايصح فيها قانون كولوم للاستطارة وبذلك تظهر اثار القوة النووية لذلك فأن r هي مقياس لنصف القطر النووي.

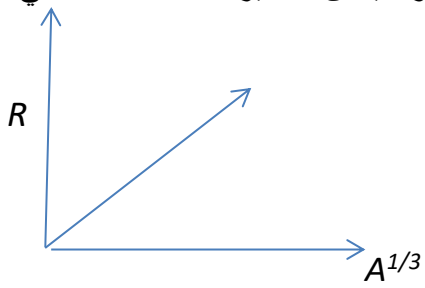
- الى جانب تشتت الفا هناك تجارب تشتت اخرى وضحت ان نصف القطر النووي الذي تظهر عنده اثار القوة النووية يمكن ان يكتب بصورة تقريبية على شكل التالي:

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

حيث ان A تمثل العدد الكتلي وR نصف قطر النواة R_Oثابت نصف القطر معنى ذلك ان نصف رقم1 الشكل لاحظ الكتلي للعدد التكعيبي الجذر مع طرديا يتناسب النواة قطر

افضل تقريب لنصف القطر لنواة يمكن التعبير عنه بالمعادلة التي اشتقت كافضل خط مستقيم مرسوم لهذه النتائج

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



شكل رقم 1 يمثل العلاقة بين نصف القطر والعدد الكتلي للنواة

- حيث وجد ان ثابت نصف القطر النووي من تجارب التشتت لجسيمات الفا يساوي 1.4×10^{-13} *cm*
- وللاكترونات يساوي 1.2×10^{-13} *cm*
- اذا اعتبرنا النواة على شكل كرة متكونة من *A* من الجسيمات الصلدة فان حجم النواة يساوي $V=4/3\ \Pi\ R^3$ اي ان $V=4/3\pi\ R^3{}_0 A$ وهذا يعني ان $V \sim A$, لكن الكتلة التقريبه للنواة تساوي A/N_A حيث ان N_A يمثل عدد افوكادرو

$$\rho = \frac{1}{\frac{4}{3}\pi R_0^3 \quad N_0}$$

- وعليه يمكن معرفة كثافة النوة والتي تساوي بالتعويض عن الثوابت نجد ان كثافة
- النواة تساوي: $10^{14} gm/cm^3$ وهذا يعني ان النواة وسط كثيف وغير قابل للانضغاط.

4- الكثافة (Density(ρ

نفرض ان النواة كروية الشكل تقريبا لذالك فان حجمها يعطى بالعلاقة :

$$V_N = \frac{4}{3}\pi R^2 = \frac{4}{3}\pi r_0^3 A$$

$$\rho = \frac{m_N}{V_N} = \frac{ZM_p + NM_N}{\frac{4}{3}\pi r_0^3 A}$$

But $M_p \cong M_N \rightarrow M_N = (Z+N)M_N = AM_N$

A≅ M

$$\rho = \frac{AM_N}{\frac{4}{3}\pi r_0^3 A} = \frac{1.0087\ amu}{\frac{4}{3}\pi(1.4f)^3} \cong 0.09\ amu/fm^3$$

وهو مقدار ثابت

The distribution of nuclear charge density توزيع كثافة الشحنة النووية

5-توزيع الشحنة داخل النواة:

توزيع كثافة الشحنة النووية The distribution of nuclear charge density

من تجارب تشتت الجسيمات(ألفا أو الألكترون) عن النواة الهدف تم التعرف على طبيعة توزيع كثافة الشحنة النووية.

تجارب التشتت الألكتروني عن مختلف النوى $^{208}Pb, ^{58}Ni, ^{16}O, ^{12}C$ بينت :-

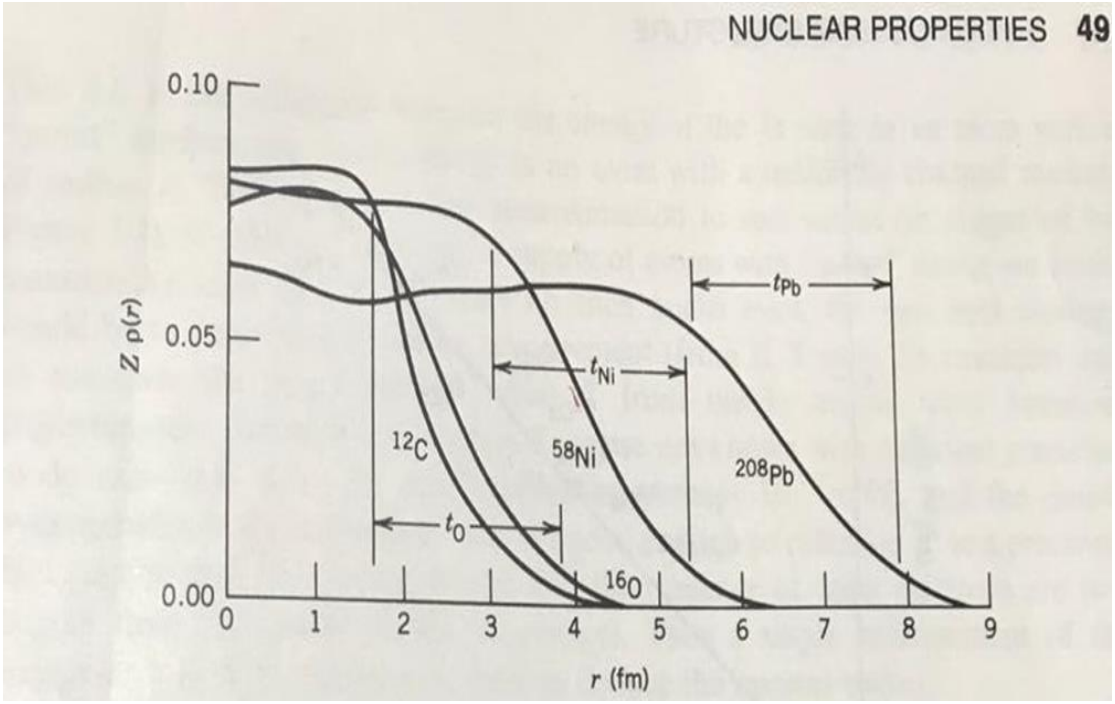
1- أن عدد النيوكلونات (العدد الكتلي A) لكل وحدة حجم مقدار ثابت

$$\frac{A}{3/4\,\pi R^3} \sim constan$$

2- أن كثافة الشحنة النووية المركزية هي نفسها تقريباً لجميع النوى.

3- إن توزيع كثافة الشحنة لاينتهي قطعياً عند نصف القطر R و لكنها تتغير حسب المنحنى المميز الموضح في الشكل أدناه

(يوضح ان النويات تتجمع كليا بالقرب من مركز النواة وتوزيعها ثابت الي حد السطح النووى لذا فان عدد النويات لكل وحدة حجم هو مقدار ثابت).



معدل تغير كثافة الشحنة النووية عبر النواة يوصف حسب دالة فيرمي fermi function

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

حيث ان ρ_0 تمثل كثافة النويات بالقرب من منتصف النواة وتساوي تقريبا $0.165 nucleus/fm$

R يمثل نصف القطر الذي تهبط فيه كثافة النويات بمعدل 50 % من المنصف

a تمثل مقياس لسمك سطح النواة (له علاقة بسمك السطح النووي) وتساوى تقريبا $0.55\ fm$ حيث ان

$$t = 4.4a$$

حيث t(Nuclear surface thickness) سمك السطح النووي وهو المسافة التي علي امتدادها تهبط كثافة الشحنة النووية من 90% الي10% اي انها المنطقة المحصورة بين سطحين كرويين الكثافة النووية علي الاول تساوى$0.9\rho_0$

ونصف $r_{0.9}$ وعلي الثاني تساوى $0.1\rho_0$ ونصف قطر $_{0.1}$ اي ان سمك المنطقة السطحي هو $r_{0.1} - r_{0.9} = a = 2.4f$

مثال: احسب وارسم توزيع كثافة النكليونات لنواة الكوبلت -59 كدالة للبعد عن مركز النواة عند القيم

r =0,2,4,,8,10 fm

الحل:

R_0=1.2fm

A=59

$$R = R_0 A^{\frac{1}{3}}$$

$$R = 1.2(59)^{1/3} = 4.6715$$

a=0.55 fm , $\rho_0 = 0.165\ nucl/fm$

$$\rho(0) = 0.1649, \rho(2) = 0.1637, \rho(4) = 0.1277, \rho(6) = 0.0132, \rho(8) = 3.6 \times 10^{-4}, \rho(10) = 9.3 \times 10^{-6}$$

6-الزخم البرمي للنواة Nuclear Spin:

لتفسير التركيب الدقيق للخطوط الظاهرة في متسلسلات الطيف لنوى بعض العناصر, وضع باولي فرضيته التي تنص علي ان نواة الذرة تبرم حول محور لها, وهذا البرم ناتج عن برم مكوناتها. حيث تمتلك البروتونات والنيوترونات زحما زاويا ذاتيا مقداره $\frac{1}{2}\hbar$ كما هي الحال بالنسبة للالكترونات, حيث $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ وان h هو ثابت بلانك .وبما ان الزخم الزاوى هو مقدار اتجاهي ,لذالك فان الزخم الزاوى الكلى للنواة هو عبارة عن المجموع الاتجاهي للزخوم الزاوية لمكوناتها ويرمز للزخم الزاوى للنواة بالرمز j ,الزخم الزاوى المداري i ومتجه الزخم الزاوى s يرتبطان متجهيا لتكوين الزخم الزاوى الكلي j للنوية اي ان j يمكن ان ياخذ القيم التالية:

$J=s+i$ او $j=s-i$ حيث يمثل حالات الارتباط بين الزخم البرمي والمداري في نفس الاتجاة او عكس الاتجاة .

لقد وجد تجريبيا ان النوى الزوجية-الزوجية (لها عدد زوجي من البروتونات وعدد زوجي من النيوترونات) يكون لها $j=0$ مثل $^{16}_{8}O$

اما النوى الفردية –الفردية يكون لها j عدد صحيح مثل $^{14}_{7}N$ $(0,1,2,3,4,$

النوى الزوجية-الفردية وكذالك الفردية-الزوجية فان لها مضاعفات النصف لقيمة j

مثل $^{17}_{8}O$ يكون البرم الكلي للنواة يساوى $1/2$

القيم المقاسة للبرم تعطي معلومات مهمة عن التركيب النووى والبرم النووى عادة يستخدم لترميز مستوى الطاقة النووى

مستويات الطاقة المتهيجة Nuclear exited states

مثلما هو الحال في الذرة ممكن دراسة التركيب النووى من خلال دراسة خواص المستويات النووية المتهيجة ويتم الحصول علي المستويات المتهيجة في الذرة بتحريك الالكترونات المنفردة الي مدارات طاقة عالية, في الحالة النووية يعمل نفس الشئ بالنسبة للنيكليونات المنفردة لذا فان المستويات المتهيجة النووية تعطي صورة عن شكل مدارات النيكليونات المنفردة, عملية الحصول علي المستويات المتهيجة النووية هو باضافة طاقة الي مركز النيكليونات المزدوجة وهذه ممكن ان تكون اهتزازية او دورانية جماعية لكل مركز النيكليونات المترابطة او ان الطاقة تعطى الي النيكليونات المترابطة او الي النيكليون المنفرد المسؤول عن الخواص النووية للنواة.

الهدف من دراسة الاطياف النووية المنبعثة عن النواة المتهيجة هومشاهدة المستويات المتهيجة وقياس خواصها .

الطرق التجريبية لهذا الغرض هي :

1- تحلل النشاط الاشعاعي
2- التفاعلات النووية

اما الخواص التي تقاس لكل مستوى متهيج هي :

1- طاقة المستوى المتهيج
2- عمر ونمط انحلال المستوى
3- البرم والتماثل
4- العزم الثنائي المغناطيسي والعزم الرباعي الكهربائى

التماثل (π):

- اما التماثل فهو مصطلح مهم في الفيزياء الذرية والنووية وليس له مشا بهه للفيزياء الكلاسيكية ,والتماثل هو خاصية للدالة التي تصف المجموعة الكمية وان دالة الموجة التي تمثل جسيمة واحدة يقال عنها تماثل موجب وهذا التماثل الموجب اذا كانت اشارة دالة الموجة لاتتغير عند انعكاسها على نقطة الاصل في النظام الكمي ويقال ان لها تماثل سالب اذا تغيرت اشارتها .اذا كانت دالة الموجه معلومة فبالإمكان تحديد التماثل وذلك من حاصل ضرب تماثلات النويات التي عددها A وحتى الوصول الى نتيجة ان التماثل اما موجب او سالب
- Π=π1π 2π 3π 4----------πA
- في الواقع لايمكن الوصول الى هذه النتيجة لهكذا عمليات ضرب لانه اساس لايمكن تعيين دالة الموجة محددة ذات تماثل معروف لكل نوية لكن التماثل يحدد عمليا عن طريق نتائج التفاعلات والتحللات النووية .,التماثل خاصية عامة ويستخدم ايضا الترميز مستويات الطاقة النووية
- $I^{\pi}=0^{+}$ ، $(1/2)^{-}$,2^{+} ,$(5/2)^{+}$
- حيث ان I ياخذ اي قيمة بينما π تكون سالبة او موجبة

العزم الثنائي المغناطيسي μ magnetic dipole moment

في الاطياف الذرية تقاس العزوم المغناطيسية للذرات بوحدات مكنتون بور U_B والذي يعرف بالعزم المغناطيسي المرافق للالكترون في حركته المدارية والذي يمتلك زخما زاويا قدره Iħ .

لحلقة دائرية تحتوى مساحة *A* ويسري فيها تيار كهربائي *I* فان العزم المغناطيسي μ مقداره:

$$\mu = IA \quad \text{.....1}$$

اذا كان التيار ناتج عن شحنة e تتحرك بسرعة *v* في دائرة نصف قطرها *r* في زمن دورى $\frac{2\pi r}{v}$ *فان العزم الثنائي المغناطيسي*

$$2\mu = (\frac{e}{\frac{2\pi r}{v}})\pi r^2 = \frac{evr}{2} = \left(\frac{e}{2m}\right) I \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

I=mvr والذي يمثل الزخم الزاوى الكلاسيكي

عند وضع I بصيغة الميكانيك الكمي فناخذ قيمته بالنسبة للمحور الذى عنده I اعظم مسقط وهو $m_I\hbar$ حيث ان $m_I = +1$ وعلية فان:

$$3M = \left(\frac{e\hbar}{2m}\right) I \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

L العدد الكمي المداري و$\frac{e\hbar}{2m}$ يمثل بالماكنيتونmagneton وفي الحالة الذرية نستخدم كتلة الالكترون ونحصل علي مكنيتون بوهر Bohr magneton

$$M_B = 5.7884 \times 10^{-5} ev/T$$

وفي الحالة النووية نستخدم كتلة البروتون ونحصل علي الماكنيتون النووي

$$M_N = 3.1525 \times 10^{-8} ev/T$$

ان الاشارة الموجبة تعنى ان اتجاه العزم المغناطيسي للنواة يكون في نفس اتجاه برم النواة , اما الاشارة السالبة فتعني ان اتجاه العزم المغناطيسي للنواة يكون معاكس للبرم.

لقد وجد عمليا ان العزم المغناطيسي للبروتون مساويا الي U_N

$$U_P = +2.79276 U_N$$

وليس مكنيتون نووى واحد كما كان متوقعا وهذا يعني ان توزيع الشحنة للبروتونات غير منتظمة

اما بالنسبة للنيوترون فان العزم المغناطيسي له مساو الي

$$U_n = -1.191315\, U_N$$

وهذا يعني كذالك ان توزيع الشحنة للنيترونات غير منتظمه

العزم الكهربائي الرباعي النووى:

هو مقياس لمقدار انحراف توزيع الشحنة عن الشكل الكروى(eQ) وان العزم الكهربائي لشحنة نقطية كلاسيكية هو $e(3z^2 - r^2)$

1-اذا كانت الجسيمة تتحرك بشكل متناظر كروى فان

$$z^2 = x^2 = y^2 = \frac{r^2}{3}$$

وبالتالي فلا وجود للعزم الرباعى الكهربائي

2-اذا كانت الجسيمة يحويها المستوى (x,y) فان z تكون صفر ويكون $Q = -r^2$

هذا في الحالة الكلاسيكية اما في الميكانيك الكمي فان العزم الرباعي الكهربائي للنيكليون المنفرد هو:

$$eQ = e\int \Psi^*(3z^2 - r^2)\Psi dv$$

لذا فان:

1- اذا كان ^{2} | Ψ | متناظرة كرويا فان Q=0
2- اذا كان ^{2} | Ψ | يحويها المستوى X,Y و Z=0 فان Q=< r^2 >
3- اذا كان ^{2} | Ψ | علي امتداد محورZ و Z=r فان Q=+2< r^2 > حيث ان < r^2 > تمثل معدل مربع نصف القطر

مثلما في البرم النووى | فان لقوة الازدواج اثر في قيمة Q اذا النكليونات المرتبطة مع بعضها بقوة الازدواج تتحرك بمدارات متناظرة كرويا فان هذه النكليونات لا تساهم بقيمة Q اي ان Q=0 . لذا فان قيمة Q تقدر بفعل نكليونات التكافؤ التي تدور قرب السطح النووى. حيث ان نصف القطر النووى يساوى $R = R_0A^{\frac{1}{3}}$ فان:

$$| eQ | \leq e\, R_0^2 A^{2/3}$$

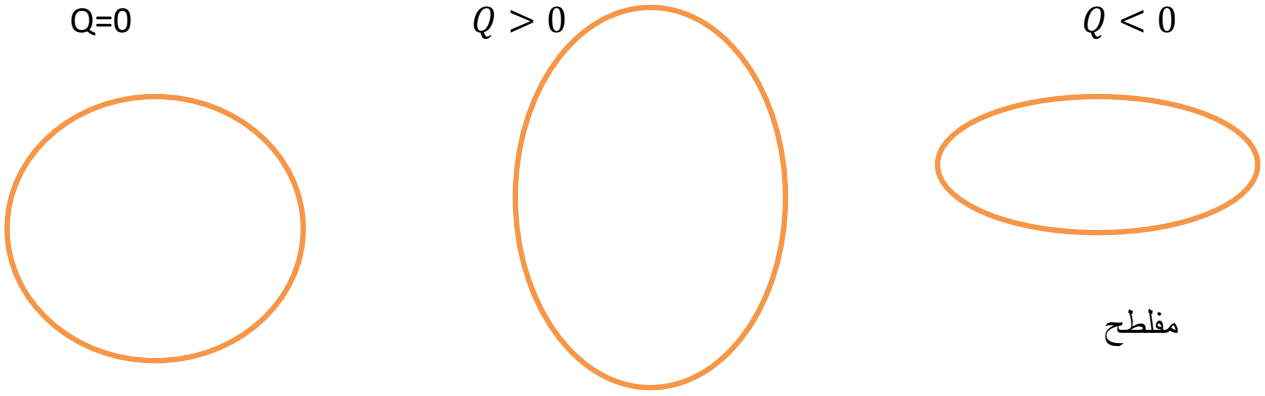
قيمة العزم الرباعى الكهربائي تمتد من $6 \times 10^{-30} em^2$ للنوى الخفيفة الي $50 \times 10^{-30} em^2$ للنوى الثقيلة

قيم Q تقع بين *(0.5-0.6)* كما في الجدول التالي:

النويدة	العزم الرباعي الكهربائي لبعض النوى Q
^{2}H	+0.0028
^{17}O	-0.02578
^{57}Co	+0.4
^{137}Cs	-0.003
^{161}Dy	+2.4
^{176}La	+8

نلاحظ من الجدول اعلاه ان امتلاك بعض النوى قيمة عالية جدا للعزم الرباعي الكهربائي يدل ان هذه النوى لم تكن متناظرة كرويا (اي ان توزيع الشحنة النووية غير متناظره كرويا) وان قلب النوى حصل فيه تشوة كبير ويكون قلب النوى المشوه اما على شكل بيضوى متطاول او مفلطح كما في الشكل التالي:

Q=0 $Q > 0$ $Q < 0$



كروى بيضوى مفلطح

ملاحظة: الامثلة لكل موضوع سيكون داخل الصف اي في المحاضرة ارجو المتابعة لتدوين كل الامثلة والملاحظات المهمة وهذا ينطبق علي كل الفصول.