الخواص الأساسية للنواة

Basic Properties of the Nucleus

أ.م.د.بثينة عبد المنعم إبراهيم

(١-١) نبذة تاريخية حول تطور فكرة الذرة واكتشاف النواة

Historical Review

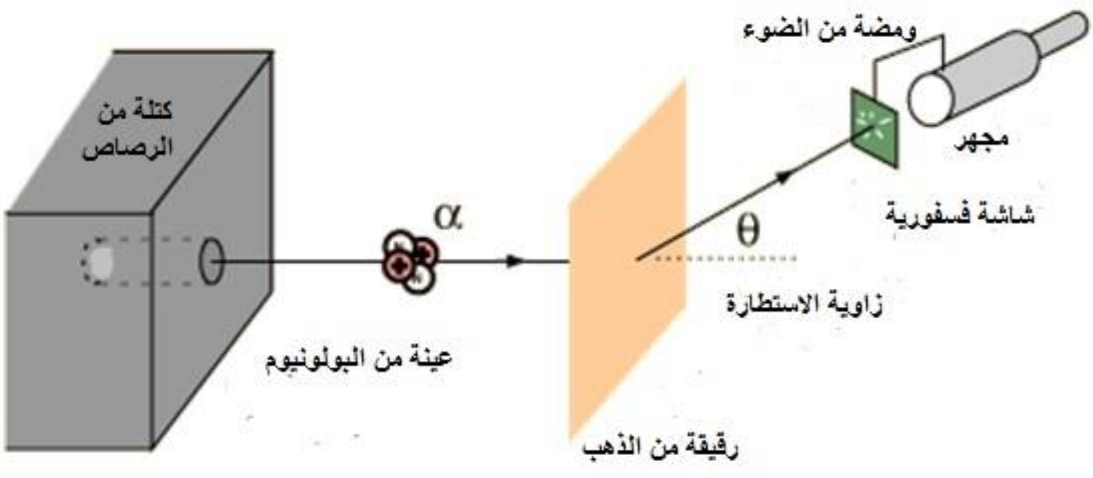
إن المفهوم القديم لوصف الذرة على أنها جسيم غير قابل للانقسام كان مفهوما خاطئا الى إن أجرى العالم البريطاني جوزيف جون ثومسن (J.J.Thomson) في العام ١٨٩٦م أبحاثا حول أشعة الكاثود واتبعه في العام ١٨٩٧م ، بأبحاث أخرى أدهش فيها الأوساط العلمية بإعلانه أن الجسيمات المكونة لأشعة الكاثود هي أصغر حجما بكثير من الذرات وقد سميت هذه الجسيمات بالالكترونات(Electrons) وفي الفترة ما بين (١٩٠٣-١٩٠٧)، توصل العالم ثومسن إلى جملة من الحقائق المهمة منها : أن الذرة هي عبارة عن كرة مصمتة موجبة الشحنة تتخللها الكترونات سالبة الشحنة وتوصل أيضا ان الذرة متعادلة كهربائياً اما العالم البريطاني أرنست رذرفورد(Ernest Rutherford) فقد أجرى بعض التجارب للوصول إلى حقائق تركيب الذرة حيث أطلقت حزمة من جسيمات إلفا من مصدر مشع لعنصر البولونيوم للمرور باتجاه صفيحة رقيقة من الذهب واستقبلت هذه الجسيمات كومضات ضوئية على شاشة من كبريتييد الخارصين كما موضح في الشكل (١-١) ، ولوحظ مرور معظم جسيمات ألفا عبر رقيقة الذهب في حين انحرفت واحدة من عشرين ألف منها كما

موضح في الشكل (١-٢) ، ومن هذه الحقيقة العلمية أستنتج رذرفورد ما يلي :

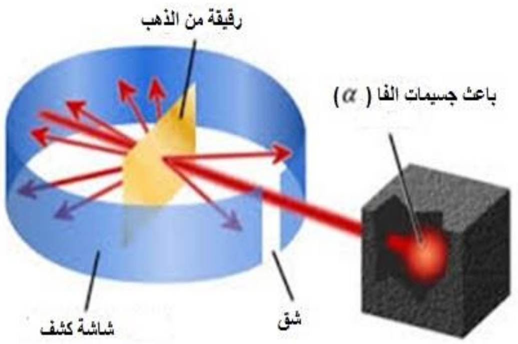
١. وجود فراغ كبير في الذرة دليل على عدم انحراف كلي لجسيمات ألفا .

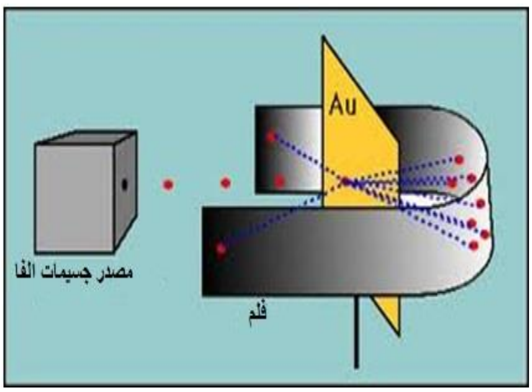
٢. احتواء الذرة على بعض الجسيمات الثقيلة والمشحونة بشحنات موجبة وبالتالي فان اقتراب جسيمات ألفا منها تسبب في تنافر بسيط معها والذي أدى إلى انحراف بعض جسيمات ألفا .

٣.تمركز الجسيمات الموجبة الشحنة في وسط الذرة مما سبب الانحراف الكبير لجسيمات ألفا وبناءا على هذة الاستنتاجات وضع العالم رذرفورد نموذجه الذري والذي عرف بالنموذج النووي وذلك في العام ١٩١١م ، والذي بين أن الذرة هي نواة مركزية تدور حولها الإلكترونات في مدارات خاصة وان معظمها فراغ وان كتلة الذرة تتركز في النواة لان كتلة الالكترونات صغيرة جدا مقارنة بكتلة مكونات النواة ، وبما أن الذرة متعادلة كهربائيا فان عدد الشحنات الموجبة يساوي عدد الشحنات السالبة (الالكترونات) كما توصل إلى أن ثبات الذرة يرجع إلى أن الالكترونات تقع تحت تأثير قوتين متضادتين في الاتجاه ومتساويتين في المقدار هما قوة جذب النواة للالكترونات وقوة الطرد المركزي الناتجة عن دوران الالكترونات حول النواة .



شكل(١-١) تجربة رذرفورد





شكل(١-٢) شكل توضيحي لتجربة رذرفورد

وفي العام ١٩١٣م أقترح العالم الفيزيائي الدنماركي نيلز بور (N.Bohr) نموذجا للذرة يشير إلى ان الالكترونات تدور حول النواة في مسارات دائرية محددة ، وطالما أنها في مداراتها فإنها تمتلك طاقة محددة وثابتة لان لكل مدار طاقة محددة يعبر عنها باعداد صحيحة تسمى الإعداد الكمية الرئيسية ، وان الإلكترون لا يفقد طاقة ما دام في مداره واذا انتقل الى مدار آخر أعلى فانه يكتسب طاقة (طيف الامتصاص) واذا أنتقل إلى مدار أدنى فانه يفقد طاقة (طيف الانبعاث).

وبعد معرفة الذرة والأسس التي تحكمها تواصلت جهود العلماء والباحثين لمعرفة مكونات النواة ، ففي العام ١٩١٩م تم اكتشاف البروتون من قبل العالم ارنست رذرفورد، حيث لاحظ عند قصف غاز النيتروجين بجسيمات ألفا وجود نواة الهيدروجين في نواتج التفاعل بواسطة اجهزة الكشف آنذاك وحسب المعادلة التالية :

$$^{14}N+\alpha \rightarrow {}^{17}O + {}^{1}_{1}H$$

وقد سميت نواة الهيدروجين بالبروتون نسبة إلى إدعاءين :

الأول:- الكلمة الإغريقية (بروتوس) والتي تعني الأول .

الثاني :- نسبة الى العالم وليام بروت (William Prout) الذي اقترح في عام ١٨١٥م ان جميع الذرات مبنية من ذرات الهيدروجين وان الاوزان الذرية تكون مضاعفات الوزن الذري للهيدروجين ، ولكن فيما بعد وجد ان

الوزن الذري لبعض العناصر هي اعداد كسرية مثل عنصر الكلور (Cl) والنحاس (Cu).

وبعد اكتشاف البروتون جاءت فرضية الالكترون – بروتون بسبب انبعاث جسيمات ألفا وبيتا من ذرات العناصر المشعة وحسب تفسير النشاط الاشعاعي الذي اكد بأن جسيمات ألفا وبيتا تخرج من نواة الذرة وهذا ما دعا الى فرض وجود الالكترونات والبروتونات داخل النواة ، حيث فرض ان نواة الهليوم تحتوي على الكترونين وبروتونين.

، فيما برزت فرضية جديدة اخرى بعد اكتشاف العالم شادويك عام ١٩٣٢م للنيوترون سميت بالبروتون – نيوترون. فعند قصف نواة البريليوم بجسيمات الفا الصادرة عن نواة البولونيوم نتجت جسيمات جديدة متعادلة الشحنة لم تكن معروفة من قبل سميت بالنيوترونات ونتيجة لذلك اقترح العالم هايزنبرك بأن العناصر الاخرى تحتوي على نيوترونات ايضا، وبعد ذلك تم اقتراح فرضية البروتون – نيوترون لمكونات النواة من قبله والتي لاقت نجاحا كبيرا

ان النظرة الحديثة للنواة تشير إلى ان النواة تتكون من جسيمات اصغر من البروتونات والنيوترونات سميت بالكواركات(Quarks) التي اقترحت من قبل العالمين موري جلمان (Murray Gell-Mann) و وجورج سوايك (George Zweig) سنة ١٩٦٤ م وهذا ما أكدته تجارب الاستطارة غير المرنة العميقة (Deep inelastic scattering) ، واول تجربة اجريت سنة ١٩٦٨ م في مركز معجل ستانفورد الخطي

Stanford Linear Accelerator Center (SLAC)، حيث قصفت النواة بواسطة الكترونات ذي طاقة عالية لمعرفة ما هية مكونات النواة والتي اثبتت ان البروتونات والنيوترونات متكونة من ثلاث كواركات (Quarks) والتي سنتناولها بالتفصيل في الجزء الثاني من الكتاب .

يتم تمثيل نواة اي عنصر برمز باعتبار أن عدد البروتونات يمثل بالرمز Z وعدد النيوترونات بالرمز N والعدد الكتلي بالرمز A لذا يمكن كتابة الرمز الكيميائي للنواة بـ $_{Z}^{A}X_{N}$ ، نلاحظ من الرمز أن العدد الكتلي A وضع في أعلى يسار الرمز ، والعدد الذري Z وضع في أسفل يسار الرمز وعدد النيوترونات وضع في اسفل يمين الرمز وكما موضح في الشكل الآتي :

وفيما يلي بعض الرموز الكيميائية لبعض النوى :

$$_{6}^{12}C_{6},\ _{7}^{14}N_{7},\ _{8}^{16}O_{8}$$

(١-٢) تعاريف ومصطلحات نووية

Definitions and Nuclear Terminology

هناك بعض المصطلحات النووية المهمة التي تستخدم بكثرة أثناء دراسة الفيزياء النووية ،والتي لابد من وضع تعاريف مناسبة لها لتسهيل فهمها بشكل واضح وهي كالآتي :

الكوارك (Quark) : هو جسيم اولي يمثل احد مكونات البروتونات والنيوترونات له ستة انواع وله شحنات مختلفة .

- **البروتون (Proton $_1^1P$)** : هو جسيم مشحون بشحنة موجبة قيمتها $(1.6\times10^{-19}C)$ وكتلته $(1.67\times10^{-27}kg)$ وهو أحد مكونات النواة ولا يعتبر جسيم اولي لان له بنية داخلية حيث انه يتكون من ثلاثة كواركات .

- **النيوترون (Neutron $_0^1n$)** :هو جسيم متعادل الشحنة وكتلته أكبر بقليل من كتلة البروتون $(1.68\times10^{-27}kg)$ وهو أحد مكونات النواة ولا يعتبر جسيم اولي لان له بنية داخلية حيث انه يتكون من ثلاثة كواركات .

- **العدد الذري (Atomic number Z)**: يمثل عدد البروتونات الموجودة داخل النواة والذي يساوي عدد الالكترونات في الذرة المستقرة .

- **العدد النيوتروني(Neutron number N)** : يمثل عدد النيوترونات الموجودة داخل النواة .

- **العدد الكتلي (Atomic mass A)**: هو مجموع عدد البروتونات Z وعدد النيوترونات N ‏(A=Z+N).

- **النيوكليون (Nucleon)** : هو مصطلح يطلق أما على البروتون أو النيوترون .

- **النيوكلايد (nuclide)(النويدة) :** هو مصطلح يطلق على مجموعة من النوى لها عدد معين من البروتونات Z وعدد معين من النيوترونات **N.**

- **النظائر(Isotopes)**: هي النوى التي لها نفس العدد الذري (Z) ، مثال على ذلك $^{15}_{8}O_7, ^{16}_{8}O_8, ^{17}_{8}O_9$.

- **الآيزوبارات (Isobars)**: هي النوى التي لها نفس العدد الكتلي(A) ، مثال على ذلك $(^{14}_{6}C_8, ^{14}_{7}N_7), (^{17}_{8}O_9, ^{17}_{9}F_8)$.

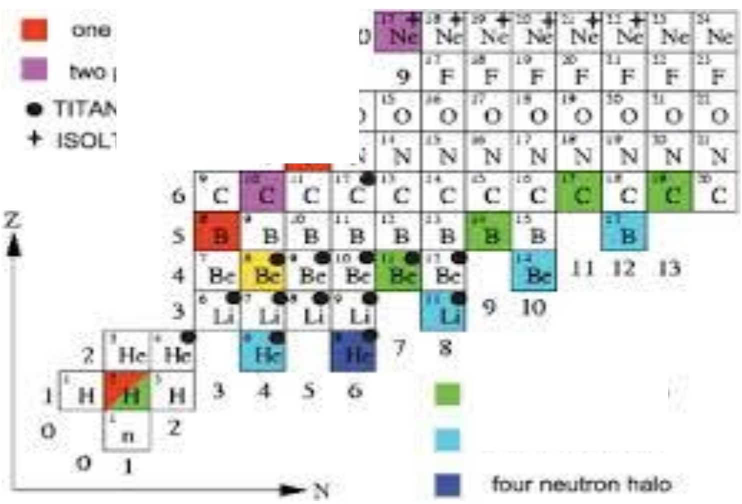
- **الآيزوتونات (Isotones):** هي النوى التي لها نفس العدد من النيوترونات (N)، مثال على ذلك $^{12}_{6}C_6, ^{13}_{7}N_6, ^{14}_{8}O_6$.

- **الآيزوميرات (Isomers)**: وتمثل حالتي التهيج المختلفتين لنفس النواة ،ولهما طاقتان مختلفتان ، حيث تكون احدهما على الاقل شبه مستقرة (Metastable) مثال على ذلك $^{80}_{35}Br^*$,$^{80}_{35}Br_{45}$.

- **النوى المرآتية (Mirror nuclei)**: هي النوى التي لها نفس العدد الكتلي (A)، وان عدد البروتونات (Z) في احداها مساو لعدد

النيوترونــــــات(N) فـــــي الاخــــرى وكمثــــال علـــــى ذلــــك $(^7_3Li_4, ^7_4Be_3), (^9_4Be_5, ^9_5B_4), (^{11}_5B_6, ^{11}_6C_5), (^{13}_7N_6, ^{13}_6C_7)$.

ويمكـــن ترتيـــب انويـــة الـــذرات بواســـطة مخطـــط ســـيجري (Segré Chart) الذي يعتمد على عدد البروتونات وعدد النيوترونات حيث يتمثل الاحداثي السيني بعدد النيوترونات والاحداثي الصادي بعدد البروتونـــات وفـــي هـذا المخطـط تقـع النظـائر علـى الخـط الافقـي والايزوتونات على الخط الشاقولي ، اما الايزوبارات فانها تقع على الخط القطري الذي يميل بزاوية (45^o) عن الاحداثي السيني من اسفل اليمين الى اعلى اليسار كما موضح في الشكل (١-٣) .



شكل(١-٣) مخطط سيجري

(١-٣) وحدات شائعة الاستعمال في الفيزياء النووية

Commonly Used Units in Nuclear Physics

لقد أثبت رذرفورد حقيقة بناء الذرة من النواة التي تحيط بها الالكترونات ، حيث أن قطر الذرة يبلغ حوالي (10^{-8}cm) وقطر النواة حوالي (10^{-12}cm) .لذا فان الابعاد النووية صغيرة جدا ولا يمكن ملاحظتها حتى باستخدام أقوى منظار بصري ، ولكن من الممكن دراسة النوى بطرق غير مباشرة تتضمن أجراء تجارب معينة تعطينا نتائج يمكن مشاهدتها أو سماعها . وبالنظر لصغر أبعاد النواة فان الابعاد النووية تقاس بوحدة تسمى الفيرمي (Fermi) أي أن :

$$1\text{fermi} = 10^{-15}\text{ m}$$

أما المساحة فتقاس بوحدة البارن (barn) .

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

وتقاس كتلة النواة بوحدة الكتل الذرية ((atomic mass unit (amu) أو يعبر عنها بـ u.

لقد حددت هذه الوحدة من قبل الاتحاد الدولي للفيزياء الصرفة والتطبيقية في الثامن من أيلول سنة ١٩٦٠م على أساس أنها تساوي (١/١٢) من كتلة الكاربون $^{12}_{6}C$ المستقر بدلا من النظام القديم الذي أعتبر كتلة ذرة الأوكسجين $^{16}_{8}O$ هي وحدة القياس . ويمكن كتابة العلاقة التي

تربط بين وحدة الكتل الذرية ووحدة الكتل الاعتيادية حسب النظام الدولي للوحدات (SI) كالآتي :

$$1(u) = \frac{M(^{12}_{6}C_6)}{12} = \frac{1}{12}\cdot\frac{12}{N_A} = \frac{1}{N_A} = \frac{1}{6.025\times10^{26}} = 1.660540\times10^{-27}\,kg$$

حيث ان (N_A) هو عدد افوكادرو

وتقاس الطاقة الممتصة أو المنبعثة من النواة بوحدات الكترون – فولت (eV) او مليون الكترون – فولت (MeV) حيث ان :

$$1\ eV = 1.6\times10^{-19}\,J$$

$$1\ MeV = 1.6\times10^{-13}\,J$$

من الممكن حساب طاقة كتلة من النواة مقدارها 1(amu)من المعادلة الآتية :

$$E = mc^2 = 1(amu)\times(2.99\times10^8)^2$$

حيث ان :

$$1(amu) = 1.6605402\times10^{-27}\,kg$$

لذلك فإن

$$E = 1.6605402\times10^{-27}\times(2.99\times10^8)^2 = 1.44\times10^{-10}\,J$$

$$E = \frac{1.44\times10^{-10}}{1.6\times10^{-13}} = 931.5\ \ MeV$$

$$\therefore 1(amu) = 931.5\ \ MeV/c^2 \qquad \text{----------}\ (1-1)$$

وتمثل المعادلة (١-١) العلاقة بين مكافئ الطاقة بمليون إلكترون فولت (MeV) ووحدة الكتلة الذرية . يوضح الجدول (١-١) كتل بعض الجسيمات بمختلف الوحدات .

جدول(١-١) كتل الالكترون والبروتون والنيوترون وبعض الثوابت

الثابت	الرمز	القيمة
Atomic mass unit وحدة الكتل الذرية	u amu	1.6605387 x 10^{-27} kg (931.494013 MeV/c2)
Electron rest mass كتلة الإلكترون الساكنة	m_e	9.1093819 x 10^{-31} kg (0.51099890 MeV/c2) (5.48579911 x 10^{-4} u)
Proton rest mass كتلة البروتون الساكنة	m_p	1.6726216 x 10^{-27} kg (938.27200 MeV/c2) (1.0072764669 u)
Neutron rest mass كتلة النيوترون الساكنة	m_n	1.6749272 x 10^{-27} kg (939.56533 MeV/c^2) (1.0086649158 u

Speed of light سرعة الضوء	c	2.99792458 x 10^{8} m /*s*
Electron charge شحنة الإلكترون	e	1.60217646 x 10^{-19} C
Planck's constant ثابت بلانك	h	6.6260688 x 10^{-34} J s 4.1356673 x 10^{-15}eV s
Avogadro's constant عدد افوكادرو	N_o	6.0221420 x 10^{23}mol^{-1}

(١-٤) خواص النواة properties of Nucleus

تحتوي نواة أي ذرة على نوعين من الجسيمات هما (البروتونات والنيوترونات) تدور في مدارات معينة داخل النواة مشابهة لمدارات الالكترونات في الذرة . ان طريقة كتابة الرمز الكيميائي للنواة مهمة جدا لأنها توضح أعداد البروتونات والنيوترونات التي تحتويها والتي تعطي صورة واضحة عن الخصائص الأساسية لها .

ويمكن تقسيم الخواص الأساسية للنواة إلى ما يلي :

(١-5) نصف القطر وكثافة النواة

Radius and Density of the Nucleus

يعتمد حجم النواة فعليا على عدد النيوكلونات (A) الموجودة فيها ، وبما أن النوى لا تملك حافات حادة ، لذا لا يمكن تحديد نصف قطرها بدقة تامة .

ان معدل نصف قطر النواة (R) يتناسب طرديا مع عدد الكتلة (A) ولتحويل التناسب ($R \propto A^{\frac{1}{3}}$) الى مساواة تضرب علاقة التناسب بكمية ثابتة (R_o) تسمى ثابت نصف القطر.

$$R = R_{\circ} A^{\frac{1}{3}} \qquad \text{----------} \ (1\text{-}2)$$

وتعتمد قيمة ثابت نصف القطر على نوع الجسيم المستخدم للاستطارة في التجربة حيث تكون (R_o=1.2) عند استطارة الإلكترونات بواسطة النوى و(R_o=1.4) عند استطارة الجسيمات المشحونة الثقيلة بواسطة النوى ، وبما ان الالكترونات افضل مقياس من الجسيمات الثقيلة لإعطائها معلومات ادق لذا تم الاعتماد على القيمة (R_o=1.2) في حل مسائل الفصل.

أن كثافة النيوكليونات (كثافة المادة النووية) ثابتة نسبيا على مسافات قصيرة من مركز النواة تهبط بعدها حتى تصل الى الصفر عند سطحها ، ولهذا السبب يمكن وصف شكل النواة بعاملين هما :

١. **العامل الأول** :هو معدل نصف القطر الذي تساوي عنده كثافة المادة النووية نصف قيمتها المركزية ($\frac{1}{2}\rho_{\circ}$) .

٢. **العامل الثاني** :هو سمك القشرة ، التي تهبط فيها الكثافة من نهايتها العظمى ($90\%\rho_\circ$) الى قرب نهايتها الصغرى ($10\%\rho_\circ$) .

وكما مبين في الشكل (١-٤) فان النيوكليونات لا تحتشد قرب مركز النواة بل تتوزع توزيعا ثابتا حتى سطح النواة ، لذلك فان عدد النيوكليونات في وحدة الحجم (كثافة النواة) ثابتة تقريبا ، أي أن :

$$\rho_o = \frac{Am_p}{\frac{4}{3}\pi\ R^3} \cong const. = \frac{Am_p}{\frac{4}{3}\pi\ R_\circ^{\ 3}A} \qquad where \quad R = R_\circ A^{\frac{1}{3}}, m_p \approx m_N$$

$$= \frac{3m_p}{4\pi R_\circ^{\ 3}} = 2.3\times10^{17}\, kg/m^3$$

وحسب تجربة استطارة الالكترونات بواسطة النوى وجد ان توزيع كثافة المادة النووية ذات حافات منتشرة غير حادة أي ان لها قشرة سمكها (t)، لذا يمكن تمثيل كثافة المادة النووية حسب صيغة ساكسون- وود (Saxon-Wood formula) وهي كالآتي :

$$\rho(r) = \frac{\rho_\circ}{1+\exp(\frac{r-R}{a})} \qquad \text{---------- (1-٣)}$$

حيث أن ($\rho_\circ$) القيمة الثابتة للكثافة وتساوي ($2.3\times\ 10^{17}$ Kg/m3) ، (R) نصف قطر النواة ($R = R_\circ A^{1/3}$) ، و (a) ثابت قيمته ($0.54\,fm$) .

يمكن حساب سمك القشرة (t) من قيمة الكثافة الكتلية القصوى $(90\%\rho_o)$ الى قيمة الكثافة الدنيا $(10\%\rho_o)$ كما موضح في الشكل (١-4) ، بتطبيق المعادلة (٣-١)نحصل :

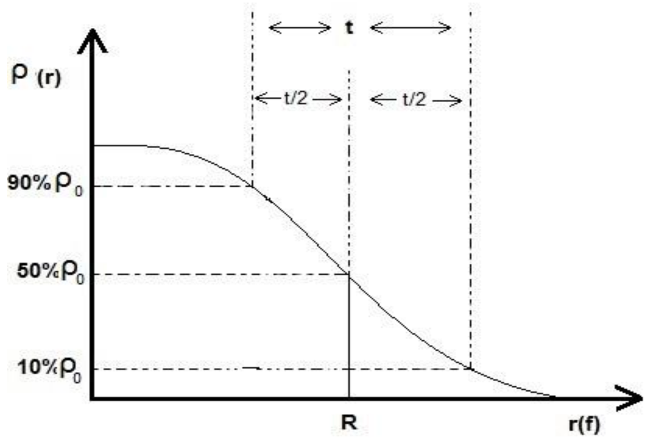
$$90\%\rho_o = \frac{\rho_\circ}{1+\exp(\frac{R-\frac{t}{2}-R}{a})} \quad \text{--------(1-4)}$$

$$10\%\rho_o = \frac{\rho_\circ}{1+\exp(\frac{R+\frac{t}{2}-R}{a})} \quad \text{-------- (١-٥)}$$

وبقسمة المعادلتين (١-4) و(١-5) نحصل على :

$$9 = \frac{1+e^{t/2a}}{1+e^{-t/2a}} = \frac{1+e^{t/2a}}{(1+e^{t/2a})/e^{t/2a}} = \frac{1+e^{t/2a}}{(1+e^{t/2a})/e^{t/2a}}$$
$$9 = e^{t/2a} \Rightarrow t/2a = \ln 9$$
$$t = 4.4a = 4.4\times 0.54 = 2.376\,fm \approx 2.4\,fm$$

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



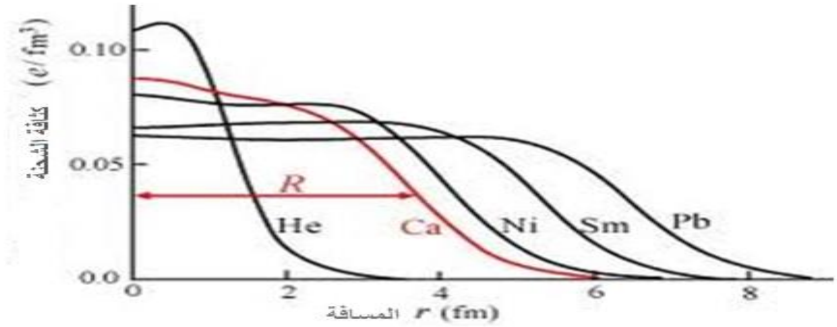
شكل(١-4) كثافة المادة النووية كدالة للمسافة

(١-6) شحنة النواة Charge of Nucleus

شحنة النواة هي المجموع الكلي لشحنات جميع البروتونات الموجودة في داخل النواة ، وبهذا فانها تساوي (Ze) أي عدد البروتونات (Z)مضروبا في وحدة الشحنة (e) وتساوي بالوحدات الكهروستاتيكية ($1.6\times10^{-19}c$) ، وتوجد منطقتان تتوزع فيهما شحنة النواة هما:

١. **المنطقة المركزية** : تبدا من مركز النواة حتى نقطة معينة ، حيث تكون كثافة الشحنة ثابتة تقريبا فيها وتكون متساوية الى حد ما بالنسبة لجميع النوى المختلفة ، ولا تختلف الا قليلا من أخفها الى أثقلها .

٢. **القشرة** :وتتحدد بالمسافة التي تقل فيها الكثافة المركزية من قيمتها العظمى ولقد وجد أن سمك القشرة ثابت تقريبا لجميع النوى ويساوي (2.4fm) . يوضح الشكل(١-٥) توزيع الشحنة لبعض النوى.



شكل(١-٥) كثافة الشحنة كدالة للمسافة

وهكذا فان توزيع كثافة الشحنة بالنسبة لنوى ذات حافات منتشرة غير حادة يمكن تمثيلها بعلاقة تقريبية ، تستند الى نتائج تجريبية ، وتعرف بعلاقة فيرمي ذات العاملين (Two Parameter Fermi Form) والتي تشبه صيغة ساكسون- وود (Saxon-Wood formula) وهي كالآتي :

$$\rho(r) = \frac{\rho_\circ}{1+e^{\frac{r-R}{a}}} \qquad \text{----------} \ (1\text{-}٦)$$

حيث ان :

ρ_0 : كثافة الشحنة وتساوي ($0.07 \quad e/f^3$) .

R : معدل نصف القطر ، ويمكن حسابه من المعادلة (١-٢) .

a : ثابت قيمته ($a=0.54$ fm) ، أما سمك القشرة فيساوي ($t=4.4a$ = 2.4fm) .

(١-٧) كتلة النواة Mass of Nucleus

من المعروف أن معظم مادة الذرة تتمركز في نواتها ، وذلك لان كتلة النيوكلون الواحد حوالي (١٨٣٧) مرة أكبر من كتلة الإلكترون (e) ولهذا السبب فان النواة تضم حوالي (% ٩٩,٩) من كتلة الذرة . أن الجداول في الملحق (I) الخاصة بالكتل لا تعطي بصورة عامة الكتل النووية بل تعطي الكتل الذرية لذا يصبح من الضروري عند حساب الكتل تصحيح الكتل الذرية وذلك بإدخال كتلة الالكترونات وطاقة ربطها في الذرات على الرغم من قيمتها الصغيرة ، لذا فان كتلة النواة تساوي الآتي :

$$M'_{nucl} = M_{atom} - [Zm_e - B_e(z)]$$

حيث ان :

M'_{nucl} : كتلة النواة. ، M_{atom} : كتلة الذرة.

Zm_e : كتلة جميع الالكترونات . ، m_e : كتلة الالكترون .

وان $B_e(z)$ هي طاقة ربط جميع الالكترونات في الذرة ، والتي يمكن حسابها من العلاقة الآتية :

$$B_e(z) = 15.73 \times Z^{\frac{7}{3}} \quad eV \qquad \text{---------- (1-٧)}$$

بالنسبة لاثقل العناصر ، طاقة الربط الكلية للالكترونات تصل إلى (1KeV) تقريبا ، وحتى هذه القيمة يمكن إهمالها عند مقارنتها مع طاقة الربط النووية والتي تساوي على سبيل المثال (28 MeV) بالنسبة لنواة ذرة الهليوم مقارنة بطاقة ربط ذرة الهليوم التي تساوي 0.079 KeV (0.000079 MeV) ، لذا يمكن حساب كتلة النواة من المعادلة الآتية :

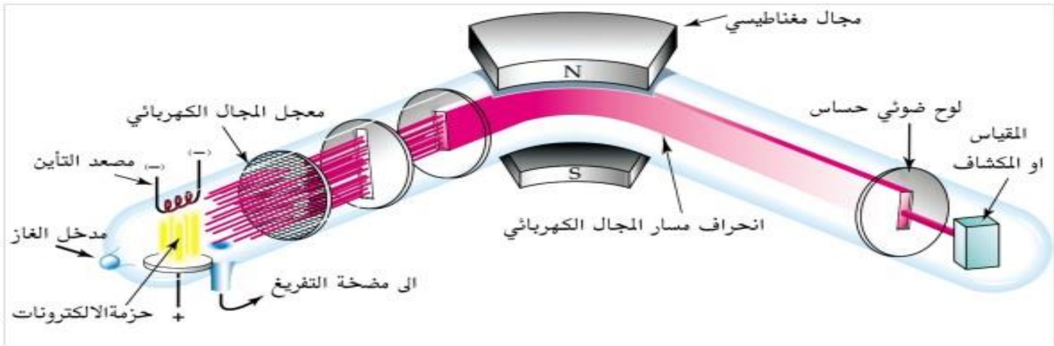
$$M'_{nucl} = M_{atom} - Zm_e \qquad ----------(1\text{-}8)$$

تقاس كتلة النواة بواسطة مطياف الكتلة (Mass spectrometer) ، حيث يستخدم فيه المجال المغناطيسي الذي شدته (B) لغرض حرف الجسيمات المشحونة كما موضح في الشكل (١-6) ، وعند دخول الجسيمات المشحونة في المطياف ستتعرض لقوتين هما قوة الجذب المركزي والقوة المغناطيسية اللتان يجب أن تتساويا لحساب كتلة النواة التي تتمثل بالمعادلة الآتية :

$$qvB = \frac{mv^2}{R} \qquad ---------- (1\text{-}٩)$$

حيث أن(q) شحنة النواة ، (v) سرعة النواة ، (m) كتلة النواة ،(R) نصف قطر المسار ومن المعادلة (٩-١) نحصل على :

$$m = \frac{qBR}{v} \qquad ----------(1\text{-}١٠)$$



شكل (١-6) مطياف الكتلة

بالنظر لوجود العناصر في الطبيعة على هيئة مزيج من النظائر والتي تختلف من عنصر لآخر، حيث توجد هذه النظائر في الطبيعة بنسب مئوية مختلفة والتي تدعى بالوفرة النسبية (Relative Abundance)، لذا يمكن حساب الكتلة الذرية للعنصر(M) من المعادلة الآتية :

$$M = m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3 + \dots\dots\dots + m_Nx_N$$

حيث ان :

$m_1, m_2, m_3, ------, m_N$ تمثل الكتل الذرية لكل نظير .

$x_1, x_2, x_3, ------, x_N$ تمثل الوفرة النسبية لكل نظير .

(١-٨) الزخم الزاوي Angular Momentum

تمثل النواة من وجهة النظر الكمية على أنها مكونة من نيوكلونات (بروتونات ونيوترونات) تتحرك داخلها في مدارات معينة مشابهة لحركة الالكترونات في الذرة ، وبسبب هذه الحركة سيكون هناك زخم زاوي مصاحب لها يسمى الزخم الزاوي المداري والذي تكون قيمته أعدادا كاملة كما هو الحال في الفيزياء الذرية ، ويرمز له بالرمز L أي أن :

$$L = \sqrt{\ell(\ell + 1)}\hbar$$

حيث ان (ℓ) العدد الكمي المداري الذي يأخذ القيم التالية :

$$\left(\ell = 0 \ \rightarrow s - state \ , \ \ell = 1 \ \rightarrow p - state \ , \ \ell = 2 \ \rightarrow d - state \ , \ .... \right)$$

وإذا كان اتجاه الزخم الزاوي المداري باتجاه محور Z يرمز لهL_Z اي إن :

$$L_z = m_\ell \hbar$$

m_ℓ : يسمى العدد الكمي المغناطيسي للزخم الزاوي المداري وقيمته ($m_\ell = -\ell \ .... \ +\ell$) وعدده يحسب بـ ($2\ell + 1$) والجدول (١-2) يوضح ذلك .

جدول(١-2) الزخم الزاوي ومركباته

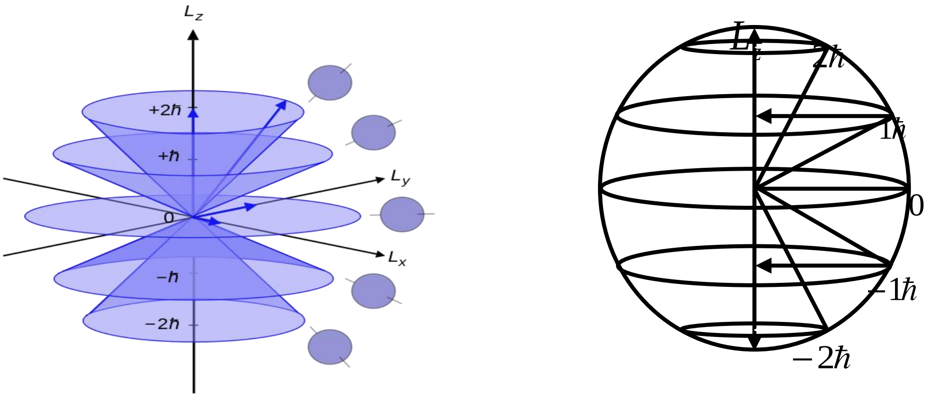
الزخم الزاوي	عدد مركبات (m_ℓ)	مركبات (m_ℓ)
٠	١	٠
١	٣	$-1 \quad , \quad 0 \quad , \quad +1$
٢	٥	$-2 \quad , \quad -1 \quad , \quad 0 \quad , \quad +1 \quad , \quad +2$
٣	٧	$-3 \ , \ -2 \ , \ -1 \ , \ 0 \ , \ +1 \ , \ +2 \ ,+3$

ان عدد قيم (m_ℓ) يمكن حسابها من العلاقة $(2\ell+1)$ اما قيمها فهي $(-\ell ... +\ell)$، فإذا كان $(\ell=1)$ فان عدد قيمها ثلاثة أي ان :

$(m_\ell = -1 , 0 , +1)$ ، وإذا كان $(\ell = 2)$ فان عدد قيمها خمسة أي ان :

$(m_\ell$ = -2,-1,0,+1,+2$)$ وهكذا لبقية قيم (ℓ) والتي يمكن تمثيلها في

الشكل (١- ٧).



شكل (١-٧) رسم توضيحي للزخم الزاوي المداري ومركباته

عندما يكون ($m_\ell = 2$) و ($\ell = 2$) والموضحة في الشكل (7-1) فإن قيمة الزخم الزاوي المداري ستكون :

$$L = \sqrt{\ell(\ell+1)}\ \hbar$$

$$L = \sqrt{2(2+1)}\ \hbar$$

$$L = \sqrt{6}\ \hbar$$

ويمكن حساب قيمة الزخم الزاوي المداري باتجاه المركبة (Z) وقيمة زاوية الميل وكما يلي:

$$L_z = m_\ell \hbar$$
$$L_z = 2\ \hbar$$
$$\cos\theta = \frac{L_z}{L} = \frac{2\ \hbar}{\sqrt{6}\ \hbar} = 0.8$$
$$\theta = \cos^{-1} 0.8 = 35^\circ$$

اما عندما يكون $(m_\ell = 1)$ و $(\ell = 2)$ فإن:

$$L = \sqrt{\ell(\ell+1)}\ \hbar$$
$$L = \sqrt{2(2+1)}\ \hbar$$
$$L = \sqrt{6}\ \hbar$$
$$L_z = m_\ell \hbar$$
$$L_z = 1\ \hbar$$
$$\cos\theta = \frac{L_z}{L} = \frac{1\ \hbar}{\sqrt{6}\ \hbar} = 0.4$$
$$\theta = \cos^{-1} 0.4 = 66^\circ$$

بالإضافة للحركة المدارية سيكون لهذه النيوكليونات داخل النواة حركة مغزلية حول محورها ، والتي تسمى بالبرم (spin) وينتج عنها زخم مغزلي يرمز له بالرمز S والذي يسمى البرم الذاتي (Intrinsic spin)، حيث تمثل قيمة البرم الذاتي بالمعادلة الآتية :

$$S = \sqrt{s(s+1)}\hbar$$

وان قيمة العدد الكمي للبرم الذاتي للبروتونات والنيوترونات تكون متساوية $(s = \frac{1}{2}\hbar)$ حيث أن :

$$S = m_s \hbar$$

m_s : العدد الكمي المغناطيسي للبرم الذاتي (Spin Magnetic quantum Number) وان متجهات الزخم للبرم الذاتي تتحدد بالعلاقة $(2S+1)$ أي ان له قيمتين هي $(m_s = \pm\frac{1}{2})$ وان قيمة البرم الذاتي ستكون :

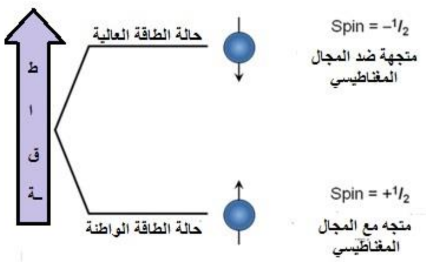
$$S = \sqrt{\frac{1}{2}(\frac{1}{2}+1)}\ \hbar = \sqrt{\frac{3}{4}}\ \hbar = \frac{\sqrt{3}}{2}\ \hbar$$

أن قيمة الزخم الزاوي الكلي يمكن تمثيله بالمعادلة الآتية :

$$J = \sqrt{j(j+1)}\ \hbar$$

حيث أن J هو العدد الكمي للزخم الزاوي الكلي وهو عدد كامل للنوى التي يكون عددها الكتلي A زوجيا ، وعدد نصف كامل للنوى التي يكون عددها الكتلي فرديا .

يوضح الشكل (١-٨) برم الجسيمات النووية عند وضعها في مجال مغناطيسي .



شكل(١-٨) برم الجسيمات النووية عند وجود مجال مغناطيسي

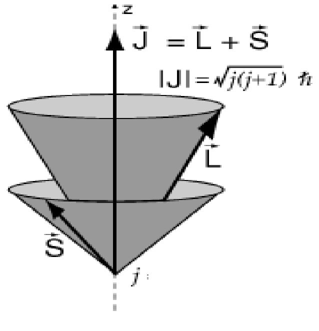
ان الزخم الزاوي الكلي للنواة هو عبارة عن الجمع الاتجاهي للزخم الزاوي المداري والبرم الذاتي للنيوكلونات المكونة للنواة ويمكن حسابه بطريقتين هما :

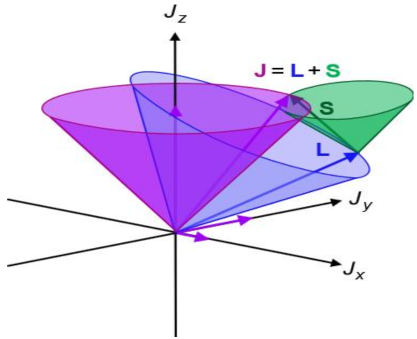
اولا : ازدواج (L-S) L-S coupling

تستخدم هذه الطريقة عندما يكون العدد الكتلي للنواة اصغر من ١٠ ($A < 10$) ، ويتم فيها الجمع الاتجاهي للزخم الزاوي المداري لجميع النيوكلونات وكذلك الجمع الاتجاهي للبرم الذاتي لجميع النيوكلونات وبعد ذلك يتم استخراج الزخم الزاوي الكلي وكما يلي :

$$\vec{L} = \sum_i \vec{l}_i \quad , \quad \vec{S} = \sum_i \vec{s}_i \quad , \quad J = \vec{L} + \vec{S}$$

تستخدم هذه الطريقة كذلك عند وضع النواة في مجال مغناطيسي ضعيف ، وكما موضح في الشكل (١-٩).





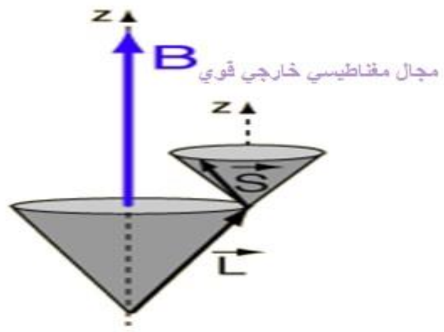
شكل(١-٩) الزخم الزاوي الكلي عند ازدواج L-S

ثانيا : ازدواج (J-J) J-J coupling

تستخدم هذه الطريقة عندما يكون العدد الكتلي للنواة اكبر من ١٠ (A > 10) ، ويتم فيها الجمع الاتجاهي للزخم الزاوي المداري والبرم الذاتي لكل نيوكليون على حدة وبعد ذلك يتم استخراج الزخم الزاوي الكلي وكما يلي :

$$\vec{J}_i = \sum_i (\vec{l}_i + \vec{s}_i) \qquad , \qquad \vec{J} = \sum_i \vec{J}_i$$

أن سبب استخدام هذه الطريقة في هذه الحالة لان الازدواج بين مدار- برم يزداد بقوة عند زيادة العدد الذري للنواة وكذلك عند وضع النواة في مجال مغناطيسي قوي ، ويمكن توضيح ذلك في الشكل (١- ١٠) .



شكل (١- ١٠) الزخم الزاوي الكلي عند ازدواج J-J

وان مركبة z للزخم الزاوي الكلي تمثل بالمعادلة الآتية :

$$J_Z = m_j\hbar \quad , \quad m_J = -J \ldots \ldots \ldots + J$$

وان قياس قيمة الزخم باتجاه معين مثلا باتجاه المجال المغناطيسي أو باتجاه حركة الجسيمات التي يمكن تمثيلها بالمتجه (z) والتي تأخذ القيم الآتية :

$$-J\hbar \quad , \quad (-J+1)\hbar \, , \quad ------ \qquad +J\hbar$$

وان عدد حالات الميل التي يأخذها الزخم الزاوي الكلي بالنسبة لمحور معين هو $(2J+1)$.

لمعرفة التمثيل الطيفي لأية نواة سنأخذ المثال التالي :

لكتابة التمثيل الطيفي للنواة $({}^{3}_{2}He)$ يجب معرفة عدد البروتونات (z) وعدد النيوترونات (N) .

$N = 1$, $Z = 2$

$1S^1$, $1S^2$

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

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

$$\ell = \ell_Z + \ell_N = 0 + 0 = 0$$

$$J = \ell + S = 0 + \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$

الرمز الطيفي لـ (^3_2He) هو $^2S_{1/2}$ ، حيث ان (٢) تمثل عدد مرات البرم $(2S+1)$ و ($\frac{1}{2}$) تمثل قيمة (J) .

(١-٩) العـــزم المغناطيســـي Magnetic Moment

أستخدم البرم المغزلي ، والعزم المغناطيسي للنواة لشرح التركيب فوق الدقيق للأطياف النووية ، وذلك بالتماثل مع الطيف الذري ، والذي تم فيه شــرح ووصــف التركيــب الــدقيق باســتخدام اللــف المغزلـــي ، والعــزم المغناطيسي للذرة. إن العزم المغناطيسي يسمى في معظم الاحيان ، عزم ثنائي القطب المغناطيسي ، فاذا كان لدينا حلقة تحمل تيارا كهربائيا (I) ومساحتها ($A = \pi r^2$) ، فان العزم المغناطيسي (μ) الذي تولده الحلقة هو :

$$\mu = IA = I\pi r^2 \qquad \text{---------- (1-11)}$$

فإن اي جسيم ليس لـه برم ، ولكن لـه شحنة كهربائيـة مقدارها (e) يدور حول نقطة ثابتة ، فانه يولد عزما مغناطيسيا مساويا لقيمة التيار مضروبا فـي المسـاحة $(A = \pi r^2)$ (مسـاحة الـدائرة التـي يـدور حـول محيطهـا الإلكترون) .

وبما ان التيار (I) يساوي كمية الشحنة (e) مقسوما على زمن الدورة الواحدة (T) أي أن :

$$I = \frac{e}{T} \qquad \text{---------- (1-12)}$$

وان الزمن (T) يمكن كتابته بالعلاقة الاتية :

$$T = \frac{2\pi\ r}{v} \qquad \text{--------- (1-13)}$$

حيث ان :

r : نصف قطر المدار ، v : سرعة الإلكترون

وبتعويض المعادلة (١٣-١) في المعادلة (١٢-١) نحصل :

$$I = \frac{e}{\frac{2\pi\ r}{v}} = \frac{ev}{2\pi\ r} \qquad \text{---------- (1-14)}$$

وبتعويض المعادلة (١٤-١) في المعادلة (١١-١) ينتج :

$$\mu = \pi\ r^2 \frac{ev}{2\pi\ r} = \frac{evr}{2} \qquad \text{---------- (1-15)}$$

ان الزخم الزاوي المداري (L) لهذا الجسيم سيكون :

$$L = mvr \Rightarrow v = \frac{L}{mr} \qquad \text{---------- (1-16)}$$

حيــث ان (m) كتلــة الجســيم المشــحون ، ومــن المعــادلتين (١٥- ١) و (١٦- ١) نحصل على :

$$\mu = \frac{evr}{2} = \frac{eL\,r}{2m\,r}$$

$$\mu = \frac{e}{2m}L$$

$$\frac{\mu}{L} = \frac{e}{2m} \qquad \text{---------- (1-17)}$$

تمثـل المعادلـة (١٧-١) النسـبة بـين العـزم المغناطيسـي والـزخم الـزاوي المـــــــداري ($\frac{\mu}{L}$) والتـــــي تســـــمى بالنســـــبة الجايرومغناطيســـــية (Gyromagnetic ratio) ويرمز لها بالرمز (γ).

عند تعويض كتلة الالكترون (m_e) في المعادلة (١٧-١) نحصل :

$$\gamma = \frac{\mu}{L} = \frac{-e}{2m_e} \qquad \text{---------- (1-18)}$$

وقد أظهرت القياسات العملية التي أجريت ان النسبة الجايرومغناطيسية للإلكترون ضعف قيمته في المعادلة (١٨-١)، لذلك تم تعديل هذه المعادلة لتصبح :

$$\gamma = \frac{\mu}{L} = \frac{-e}{2m_e} g \qquad \text{---------- (1-19)}$$

حيث ان (g) ثابت

يمكن تمثيل العزم المغناطيسي الناتج من الحركة المدارية (μ_L) بالمعادلة الآتية :

$$\mu_L = \frac{-e}{2m_e} g\ L \qquad \text{---------- (1-20)}$$

$$L = \ell\ \hbar \qquad \text{---------- (1-21)}$$

وبتعويض المعادلة (21- ١) في المعادلة (20- ١) فإن :

$$\mu_L = \frac{-e\hbar}{2m_e} g\ \ell \qquad \text{---------- (1-22)}$$

وتسمى القيمة ($\frac{e\hbar}{2m_e}$) بماكنتون بور (μ_B Bohr magneton) وقيمته تساوي ($9.27\times10^{-24} J / Tesla$) او ($9.27\times10^{-21} erg / guass$) فان المعادلة (١-٢٢) ستصبح :

$$\mu_L = -\mu_B\ g_\ell\ \ell \qquad \text{---------- (1-23)}$$

اما في حالة الحركة المغزلية فإن المعادلة (23- ١) ستصبح :

$$\mu_S = -\mu_B\ g_s\ s \qquad \text{---------- (1-24)}$$

ان قيم (g) للإلكترون هي $g_s = 2$, $g_\ell = 1$][لذلك فإن المعادلتين (٢٣-١) و (٢٤-١) ستكون:

$$\left.\begin{aligned} \mu_\ell &= -\mu_B\,\ell \\ \mu_S &= -2\mu_B\,s \end{aligned}\right\} \qquad \text{---------- (1-25)}$$

اما في حالة النواة فإن الكتلة في مقام المعادلة (١٩-١) ستكون كتلة البروتون ، اي ان :

$$\frac{\mu}{L} = \frac{e}{2m_p}\,g \qquad \text{---------- (1-26)}$$

حيث ان (m_p) كتلة البروتون .

$$\therefore\ \mu = \frac{e}{2m_p}\,gL \qquad \text{---------- (1-27)}$$

حيث ان ($L = \ell\hbar$) لذا فإن المعادلة (27- ١) ستصبح :

$$\mu = \frac{e\hbar}{2m_p}\,gl \qquad \text{---------- (1-28)}$$

وتسمى القيمة ($\frac{e\hbar}{2m_p}$) بالماكنتون النووي (μ_N nuclear magneton)

وقيمته تساوي ($5.505\times10^{-27}\ J/Tesla$) او ($5.505\times10^{-24} erg/gauss$)

لذا فان المعادلة (١-٢٨) ستصبح :

$$\mu_\ell = \mu_N\, g_\ell\, \ell \qquad \text{---------- (1-29)}$$

حيث إن μ_ℓ يمثل العزم المغناطيسي المداري.

وان قيمة g_ℓ للبروتون والنيوترون هي :

$$g_\ell = \begin{cases} 1 & \text{للبروتون} \\ 0 & \text{النيوترون} \end{cases}$$

أما العزم المغناطيسي الناتج من البرم الذاتي (μ_s) ستمثله المعادلة الآتية :

$$\mu_s = \mu_N\ g_s s$$

وان قيمة g_s للبروتون والنيوترون هي :

$$g_s = \begin{cases} 5.5857 & \text{للبروتون} \\ -3.8261 & \text{للنيوترون} \end{cases}$$

لذا فان العزم المغناطيسي سيكون :

$$\left.\begin{aligned} \mu_{sp} &= 5.5857\mu_n \ s \\ \mu_{sN} &= -3.8261\mu_n \ s \end{aligned}\right\} \quad \text{---------- (1-30)}$$

حيث ان : μ_{sp} العزم المغناطيسي للبروتون

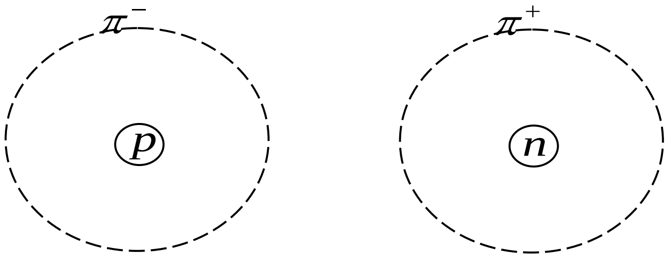
μ_{sN} العزم المغناطيسي للنيوترون

يوضح الشكل (١-١١) العزوم المغناطيسية للإلكترون والبروتون .

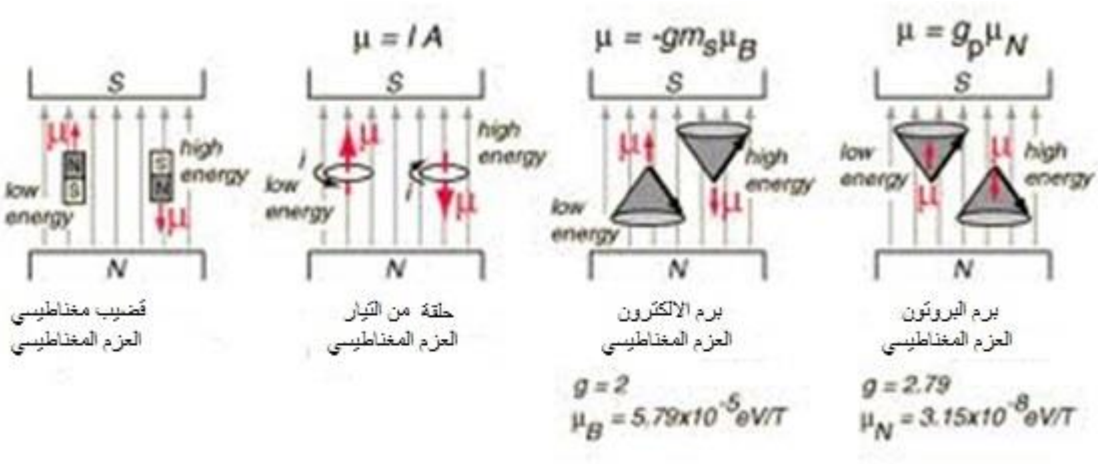
ولا بد ان نندهش من هذه النتائج العملية ، حيث من المتوقع أن العزم المغناطيسي للبروتون يساوي وحدة واحدة من الماكنيتون النووي ، والعزم المغناطيسي للنيوترون يساوي صفرا لانه جسيم متعادل وشحنته تساوي صفرا.

وقد ظهرت عدة تفسيرات لهذه النتائج العملية ، منها اعتبار النيوترون هو نظام مركب يتكون من جزء مركزي ذي شحنة موجبة وجزء خارجي ذي شحنة سالبة ، حيث ان مثل هذا النظام سيكون له عزم مغناطيسي سالب ، وكذلك اعتبار البروتون نظاما مركبا يتكون من جزء مركزي ذي شحنة متعادلة وجزء خارجي ذي شحنة موجبة ، حيث أظهرت الدراسات في السنوات الاخيرة صحة هذا الفرض .

ونتيجة لهذه الدراسات فقد تم اعتبار ان النيوكليونات محاطة دائما بسحابة من الميزونات باي ($\pi - Meson$) أي أن :



$${}_{0}^{1}n \rightarrow {}_{1}^{1}P + \pi^{-} \qquad\qquad {}_{1}^{1}P \rightarrow {}_{0}^{1}n + \pi^{+}$$



شكل(١-١١) العزم المغناطيسي لحالات متعددة

(١-١٠) التماثل والتناظر Parity and Symmetry

إن التماثل هو خاصية الدالة الموجية التي تصف المجموعات الكمية ويعرف بالرمز (π). إن دالة الموجة التي تمثل جسيما واحدا يكون لها تماثل موجب إذا كانت إشارتها لا تتغير عند انعكاسها من نقطة الأصل وتماثل سالب إذا تغيرت إشارتها ويمكن تمثيل ذلك بالمعادلة الآتية :

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

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

إن دالة الموجة لعدد من الجسيمات يمكن كتابتها على أنها حاصل ضرب دوال موجات الجسيمات المنفردة. توصف حالة النواة بالزخم الزاوي والتماثل الذي يكون إما سالبا (-) أو موجبا (+) وبما أن الزخم الزاوي يمثل بالرمز (J) فان التماثل يكتب أعلى يمين الرمز أي (J^{π}) فعندما يكون التماثل سالبا تكتب حالة النواة (J^{-}) وإذا كان التماثل موجبا فان حالة النواة تكتب (J^{+}) ويمكن معرفة تماثل النواة من المعادلة الآتية :

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

حيث ان (ℓ) الزخم الزاوي المداري

أثبتت التجارب العملية أن دالة الموجة الكمية لمجموعة من الجسيمات التي لها برم أنصاف الأعداد الصحيحة (فرميونات) تكون غير متناظرة عند تبادل أي زوج من الجسيمات، أما إذا كان لها برم مضاعفات الأعداد الصحيحة (بوزونات) فستكون متناظرة.

(1-١١) أمثلة محلولة (Solved Examples)

مثال (١)

احسب نصف قطر نواة الكربون-١٢ ونواة النيتروجين -١٤ . هل يوجد فرق بينهما ؟ وضح ذلك.

الحل:

$$R = R_o A^{1/3} = 1.2 \times (12)^{\frac{1}{3}} = 2.75\ fm$$

$$R = R_o A^{1/3} = 1.2 \times (14)^{\frac{1}{3}} = 2.89\ fm$$

نعم يوجد فرق بينهما لان نصف القطر يتناسب طرديا مع العدد الكتلي .

مثال (2)

احسب الطاقة السكونية بالجول ومليون الكترون فولت لكتلة مقدارها (٥ amu) .

الحل :

$$E = mC^2 = 5 \times 1.66 \times 10^{-27} (3 \times 10^8)^2$$
$$= 7.5 \times 10^{-10} \mathrm{J}$$

$$E = mC^2 = 5 \times 931.5 = 4657.5\ Me$$

مثال (٣)

يحتوي عنصر المغنيسيوم على ثلاثة نظائر كتلها الذرية هي (23.99 , amu ,,25.98 amu , 24.99amu) وفرتهم النسبية (٧٨,٩٩% ، ١٠% ، ١١,٠١%) على التوالي . احسب الكتلة الذرية للمغنيسيوم .

الحل :

$$M = m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3 + ------+ m_Nx_N$$

$$M = 23.99 \times 0.7899 + 24.99 \times 0.1 + 25.98 \times 0.1101$$

$$= 24.309099\ amu$$

مثال (٤)

اوجد العزم المغناطيسي الكلي لنواة الهليوم ${}^{3}_{2}He_1$

الحل :

$$Z = 2 \quad 1S^2 \quad S-state \rightarrow \quad \ell = 0 \ , \ s = 0 \ , \ J = 0$$

$$N = 1 \quad 1S^1 \quad S-state \rightarrow \quad \ell = 0 \ , \ s = \frac{1}{2} \ , \ J = \frac{1}{2}$$

$$\mu_{ps} = 5.585 \times \mu_n \times 0 = 0$$

$$\mu_{pl} = \mu_n \times l = 0$$

$$\mu_{Ns} = -3.82 \times \mu_n \times \frac{1}{2} = -1.91\mu_n$$

$$\mu_{Nl} = 0$$

$$\mu = \mu_{ps} + \mu_{Ns} + \mu_{pl} + \mu_{Nl} = 0 + (-1.91\mu_n) + 0 + 0 = -1.91\mu_n$$

مثال (٥)

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

الحل :

$$Z=1 \quad 1S^{1} \quad S-state \rightarrow \quad \ell_{1}=0 \ , \ s_{1}=\frac{1}{2}, J_{1}=\frac{1}{2}$$

$$N=1 \quad 1S^{1} \quad S-state \rightarrow \quad \ell_{2}=0 \ , \ s_{2}=\frac{1}{2} \ , \ J_{2}=\frac{1}{2}$$

$$\mu_{p}=5.585\times\mu_{n}\times\frac{1}{2}=2.792\mu_{n}$$

$$\mu_{N}=-3.82\times\mu_{n}\times\frac{1}{2}=-1.91\mu_{n}$$

$$\mu=\mu_{p}+\mu_{N}=2.792\mu_{n}+(-1.91\mu_{n})=0.882\mu_{n}$$

مثال (٦)

اوجد التمثيل الطيفي لنواة الهليوم ${}_{2}^{4}He_{2}$.

الحل:

$$Z = 2 \quad 1S^2 \quad S - state \rightarrow \quad \ell_z = 0 \;\;,\;\; S_z = 0 \;\;,\;\; J = 0$$

$$N = 2 \quad 1S^2 \quad S - state \rightarrow \quad \ell_N = 0 \;\;,\;\; S_N = 0 \;\;,\;\; J = 0$$

$$S = S_z + S_N = 0$$
$$\ell = \ell_z + \ell_N = 0$$
$$J = \ell + S = 0 + 0 = 0$$

الرمز الطيفي لنواة ${}^4_2H_2$ هو ${}^1S_0$

مثال (٧)

دالة الموجة النووية تعطى بالعلاقة :

$$\Psi_{(r,\theta\,,\Phi)} = \cos\theta e^{-ar}\, e^{i\Phi}$$

اوجد تماثل (parity) دالة الموجة .

الحل : تماثل دالة الموجة في الإحداثيات القطبية هي :

$$r \rightarrow r \quad , \quad \theta \rightarrow \pi - \theta \quad , \quad \Phi \rightarrow \pi + \Phi$$

$$\therefore \Psi(r\,, \pi - \theta\,, \pi + \Phi) = \cos(\pi - \theta)\, e^{-ar} e^{i(\pi + \Phi)}$$

$$= \cos(\pi - \theta)\, e^{-ar} e^{i\pi} e^{i\Phi}$$

$$\cos(\pi - \theta) = -\cos\theta \qquad , \qquad e^{i\pi} = -1$$

$$\therefore \Psi(r\,, \pi - \theta\,, \pi + \Phi) = \cos\theta\, e^{-ar} e^{i\Phi}$$

$$\therefore \Psi(r, \theta, \Phi) = \Psi(r, \pi - \theta, \pi + \Phi)$$

$\therefore$ التماثل يكون موجب$(+)$

أسئلة ومسائل الفصل الأول

س١ : عرف النواة وكيف يمكن التمييز بين النوى؟

س٢ : ماذا تسمى مكونات النواة الأساسية؟.

س٣ :اكتب أمثلة للنوى الآتية مع كتابة المصطلح باللغة الانكليزية.

أ- النوى الايزوبارية.

ب- النوى المرآتية.

ج- النظائر.

س٤: ما الفرق بين الفرميون والبوزون ؟ أعط أمثلة على ذلك.

س5 : لماذا فشلت فرضية الإلكترون- بروتون للنواة ؟ وضح ذلك بالتفصيل؟.

س6: اثبت صحة فرضية بروتون – نيوترون من حيث الزخم الزاوي والعزم المغناطيسي وطاقة النيوترون .

س7 : وجد ان العزم المغناطيسي للنيوترون يكون سالبا ما تفسير ذلك؟.

س8: لماذا يكون العزم المغناطيسي للإلكترون اكبر من العزم المغناطيسي للبروتون ؟.

س9 : احسب عدد البروتونات والنيوترونات في نواة ذرة الراديوم $^{222}_{86}Ra$.

س10: احسب حجم النواتين $^{6}_{3}Li_{3}$ ، $^{4}_{2}He_{2}$.

س11: ماذا يعني ثبوت الكثافة لجميع النوى؟وضح ذلك ثم احسب الكثافة الكتلية للنوى $^{4}_{2}He_{2}$ ، $^{14}_{7}N_{7}$

س12: ان ($\mathbf{r_1}$) و ($\mathbf{r_2}$) هما انصاف اقطار النوى التي لها عدد كتلي (64) و (٢٧) على التوالي اوجد النسبة ($\frac{r_1}{r_2}$).

س13 :احسب الكثافة الكتلية لنواة الهيدروجين ، ثم احسب طاقة السكون لـ ($1\ A^0$) من المادة النووية .

س 14 : احسب الوفرة النسبية لنظيري الليثيوم وهما ليثيوم – ٦ (كتلته الذرية 6.015 amu) وليثيوم – ٧ (كتلته الذرية amu ٦,٠١٦) ، علما بان الكتلة الذرية لعنصر الليثيوم هي (6.941 amu).

س١٥: احسب الكتلة الذرية لعنصر الكالسيوم الذي يحتوي على النظائر الموضحة في الجدول الآتي :

الوفرة النسبية %	النظير
96.9	كالسيوم-٤٠
0.647	كالسيوم-٤٢
0.135	كالسيوم-٤٣
2.086	كالسيوم-٤٤

س١٦ : عنصر مجهول له نظيران هما $^{16}_{5}A$, $^{14}_{5}A$ وفرتهما النسبية ١٠ % و ٩٠ % على التوالي . ما هو العنصر ثم جد الكتلة الذرية له .

س١٧ : وضح ان البرم المغزلي للنواة التي تحتوي (٢) بروتون و(٢) نيوترون يساوي صفرا.

س١٨: اذا كان $\ell = 2$ ، $m_\ell = 1$ احسب الزاوية المحصورة بين الزخم الزاوي و الاحداثي Z ثم ارسم الحالة .

س١٩ : ما الرمز الطيفي للنوى $^{3}_{2}He_1$ ، $^{3}_{1}H_2$ ، $^{2}_{1}H_1$ ، $^{1}_{1}H_0$ ؟

س٢٠ : اوجد العزم المغناطيسي للنوى ، $^{3}_{2}He_1$ ، $^{1}_{1}H_0$ ، $^{4}_{2}He_2$.