

د. علية الدبسي	اسم عضو هيئة التدريس
فيزياء نووية	المادة
الفرقة الثالثة - شعبة الفيزياء - كلية التربية	الشعبة

تم تدريس 6 محاضرات ومتبقي 4 محاضرات

وقد تم التواصل مع الطلبة من خلال تطبيق الواتساب

الباب الثاني النواة

1.2 شحنة النواة :

بدأت مسيرة الفيزياء النووية باكتشاف النشاط الإشعاعي للمواد وكان ذلك على يدي باكريل Becquerel عام 1896. لقد لوحظ أن المواد المشعة تطلق جسيمات موجبة وسالبة كما ويمكن أن تطلق جسيمات ألفا، التي هي عبارة عن "ذرات" الهيليوم التي تحمل شحنات موجبة (لم تكن صورة النواة قد اكتملت بعد)، ثم استعملت جسيمات α في تجارب جايجر ومرسدن عام 1909 كقذائف لضرب شرائح المعادن الرقيقة ومن ثم دراسة تشتت هذه الجسيمات عن تلك الشرائح. كان نموذج طومسون للذرة - المشار إليه آنفاً - يستوجب أن يكون التفاعل الكهروستاتيكي بين جسيمات α المشحونة والذرة (المتعادلة الشحنة) ضعيفاً، ومن ثم فإن جسيمات α ستمر من الذرة دون أن تعاني انحرافات كبيرة، إلا أن تجارب جايجر ومرسدن بينت أن هناك عدداً لا بأس به من جسيمات α ينحرف بزوايا كبيرة (أكبر من 90 درجة). ومن ثم ولد نموذج رذرفورد السابق ذكره. لقد بينت نتائج تشتت جسيمات α أن نصف قطر النواة يقع في حدود 10^{-15} متراً بينما يبلغ نصف قطر الذرة حوالي 10^{-10} متراً. (A) (F)

لقد وضع رذرفورد العلاقة التالية التي تبين تشتت أشعة α حيث:

$$N = \frac{N_0 n t Z_1^2 Z_2^2 k^2}{16 T^2 r^2 \sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad (1.2)$$

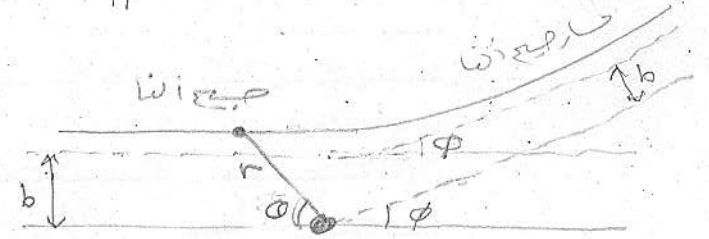
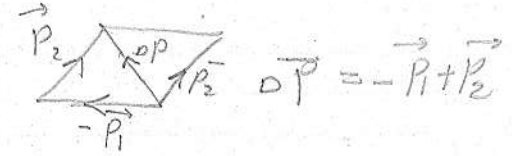
حيث:

N عدد جسيمات α المشتتة في الثانية الواحدة والواقعة على وحدة المساحات الواقعة على بعد قدره r خلف الشريحة.

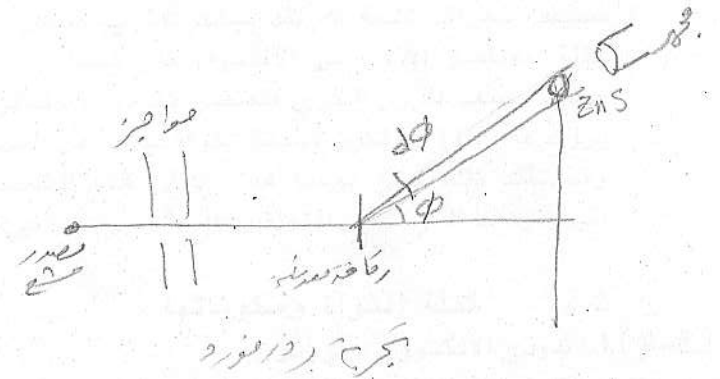
$$V = \int F dr$$

$$F = k \frac{Z_1 Z_2 e^2}{r^2}, \quad E = - \int F dr$$

$$\text{Energy} = k \frac{Z_1 Z_2 e^2}{r}$$

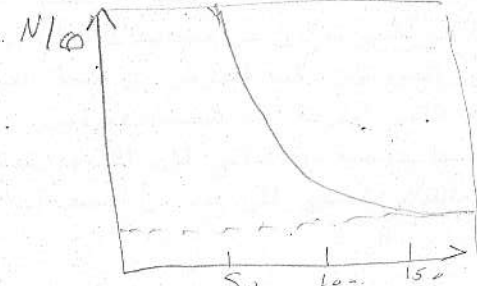


استطاع جيجر أن ينفذ هذا النوع من التجارب



(1871 - 1937)

(66) فول 1908 من الأكسجين (سدنلاب تومسون)



صوب كشاف رذرفورد

N_0	عدد جسيمات α الساقطة في الثانية الواحدة على الشريحة المعدنية.
n	عدد الذرات في وحدة الحجم من الشريحة.
t	سمك الشريحة.
Z_2, Z_1	شحنتي كل من جسيم α ومادة الشريحة.
T	طاقة حركة جسيمات α الساقطة.
ϕ	زاوية تشتت جسيمات α بالنسبة لاتجاه سقرطها.
κ	ثابت كولوم $\left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\right)$

باستخدام المعادلة السابقة يمكن تعيين شحنة النواة (Z_2) التي سببت انحراف أشعة α . لقد بينت تجارب جايجر - مرسدن أنه في حالة العناصر الأثقل من الألمنيوم، فإن قيمة هذه الشحنة تساوي عديداً، نصف الوزن الذري للعنصر تقريباً وبالتالي اقترح فان دي بروك عام 1913 أن تكون شحنة النواة عبارة عن العدد الذري للعنصر. وقد تأكد ذلك حتى يومنا هذا، إذ أن هذه الشحنة تساوي شحنة البروتونات التي تقطن النواة وذلك ما سنوضحه في الفصل التالي.

2.2 كتلة النواة ومكوناتها :

1. نموذج الإلكترون - بروتون :

لقد لوحظ أن الوزن الذري لمعظم العناصر هو عبارة عن مضاعفات الوزن الذري للهيدروجين، وهذا ما جعل بروك Prout يقترح عام 1815 أن ذرات العناصر المختلفة تبنى في الواقع من ذرات الهيدروجين. ولكن مع تقدم العلم تم تعديل هذا الاقتراح بحيث افترض الآن أن الأنوية الذرية هي التي تتكون من مضاعفات نواة الهيدروجين التي هي عبارة عن البروتون. كما افترض أن كتلة البروتون تساوي بالضبط وحدة الكتل الذرية. أما شحنة البروتون فتساوي شحنة الإلكترون ولكنها موجبة. وبالتالي فإن الأنوية تحتوي فقط على البروتونات وبالتالي تحتوي على عدد من الشحنات الموجبة تساوي

حيث أشرنا إلى أنه من نتائج تجارب جايجر ومرسدن فإن شحنة النواة تساوي نصف كتلتها. ومن ثم افترض أن النواة تحتوي على عدد من الإلكترونات السالبة لتعطل على معادلة جزء من شحنة البروتونات أي أن النواة تحتوي على بروتونات وإلكترونات ... !! ولكن هل يمكن للإلكترون أن يسكن داخل النواة ... ؟ لقد بينا فيما سبق أن المواد المشعة تطلق شحنات موجبة وسالبة (الكترونات) ولكن هل توجد هذه الإلكترونات داخل النواة نفسها ؟

من المعروف أن طاقة حركة هذه الإلكترونات (جسيمات β^-) تتراوح بين $2 - 3$ م أ ف تقريباً. وباستخدام الميكانيكا الموجبة للجسيمات يمكننا أن نحسب طول موجة الإلكترون ونقارنه مع قطر النواة لنرى ما إذا كان يمكن له أن يتواجد بها فحسب معادلة دي بروجلي والعلاقة (33.1) نجد أن :

$$\lambda_e = \frac{h}{\sqrt{2m_e E}} \approx 3.57 \times 10^{-12} \text{ m}$$

وهذا أكبر كثيراً من نصف قطر النواة ... ويمكننا مقارنة هذا الطول الموجي بطول موجة البروتون الذي يمكن أن تطلقه النواة المثارة بطاقة حركة تساوي طاقة حركة الإلكترون (3 م أ ف) على أقل تقدير، وبمعلومية كتلة البروتون التي تساوي $1.672 \times 10^{-27} \text{ kg}$ فإننا نجد أن :

$$\lambda_p \approx 0.16 \times 10^{-15} \text{ m} < 1F$$

وهذا الطول يتفق مع نصف القطر المعروف للنواة. وهكذا يتضح مما سبق أنه لا يمكن للإلكترون أن يتواجد داخل النواة لأن طوله الموجي يفوق نصف قطرها بمائة مرة تقريباً، أما البروتون فيمكن أن يحتلها بكل هدوء. وبالتالي ينبغي لنا إعادة النظر في مكونات النواة حيث لا يمكن للإلكترونات أن تتواجد بها.

ب. نموذج البروتون - النيوترون (P-n)

كان اكتشاف النيوترون عام 1932 بواسطة شادويك Chadwick ضربة قاصمة لنموذج الإلكترون - بروتون للنواة. لقد اكتشف شادويك أن قذف البيريليوم بجسيمات α الناتجة عن تحلل البولونيوم ينتج عنه

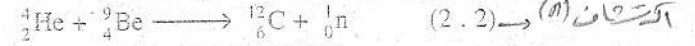
$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.672 \times 10^{-27} \text{ kg} \approx m_p$$

$$k_B = 8.617 \times 10^{-5} \text{ eV/K} \approx 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

جسيمات جديدة لم تكن معروفة من قبل ، كما اكتشف ان هذه الجسيمات لا تحمل أية شحنة كهربية ومن ثم فهي متعادلة الشحنة لذلك أطلق عليها النيوترونات neutrons أي الجسيمات المتعادلة الشحنة .

عند قذف البيريليوم بجسيمات α يحدث تفاعل نووي حسب العلاقة:



حيث ينتج عن هذا التفاعل الكربون والنيوترون.

وحيث أن النيوترونات هي جسيمات متعادلة الشحنة فإنه لا يمكن الكشف عنها مباشرة، إلا أنها عندما تتصادم مع مواد معينة ينتج عن ذلك جسيمات مشحونة يمكن الكشف عنها ومن ثم يتم التعرف على النيوترون. فمثلاً عند وضع مادة هيدروجينية (كالبرافين) أمام النيوترونات فإنها عندما تتصادم مع البروتونات الموجودة في البرافين فسوف تنطلق هذه البروتونات بطاقة كافية لإحداث أيونات في حجرة تأين خاصة (انظر الباب الثالث عشر) ومن ثم يمكن الكشف عن هذه الأيونات (انظر الباب الحادي عشر الذي يبين فيزياء النيوترونات).

فور اكتشاف النيوترونات تم تعديل نموذج الالكترن - بروتون للنواة. واقترح هايزنبرج Heisenberg عام 1932 أن تحوي جميع العناصر جسيمات النيوترونات، وبالتالي فإن الأنوية تتركب من بروتونات ونيوترونات. التي تعرف جميعاً بالنيوكليونات (nucleons) وبالتالي فإن النواة التي وزنها الذري A تحتوي على عدد من البروتونات يساوي عددها الذري (Z) كما أنها تحتوي على (A - Z) نيوترون. ويعرف A أحياناً بعد الكتلة Atomic Mass number ويساوي مجموع البروتونات والنيوترونات، فإذا كان مجموع النيوترونات في النواة يساوي N فإن :

$$A = Z + N.$$

وتبلغ كتلة البروتون 1.00727 وحدة كتل ذرية وذلك بالنسبة لمقياس الكربون 12- (انظر الباب الخامس). أما كتلة النيوترون فتساوي 1.008665 وحدة كتلة ذرية. وهي أكبر قليلاً من كتلة البروتون. ويبلغ نصف قطر أي، من البروتون أو النيوترون حوالي فيرمي واحد .

أما كتلة النواة فتساوي مجموع كتل البروتونات والنيوترونات المكونة لها.

لقد استطاع هذا النموذج الجديد للنواة أن يحل معضلات لم يستطع نموذج الالكترن - بروتون حلها. فقد استطاع على سبيل المثال تفسير العزوم المغناطيسية والنوية للنواة. ففي حالة العزوم (الزخوم) النووية نجد أن القيم المقاسة عملياً تساوي صفراً أو عدداً صحيحاً وذلك للأنوية الزوجية (A تساوي عدداً زوجياً) أما في حالة الأنوية الفردية فإنها تساوي انصاف أعداد صحيحة. من المعروف أن كلاً من البروتونات والنيوترونات هي فيرميونات (لها زخم قدره $\pm \frac{1}{2}$) وبالتالي عندما نجمع هذه الزخوم أو نطرحها نحصل على الزخم الكلي للنواة. ففي حالة النواة الزوجية فإن هذه الزخوم تجمع أو تطرح لنحصل على عدد صحيح أو صفر. فمثلاً في حالة نواة ${}^{12}_6\text{C}$ نجد ان زخمها (في مستوى الاستقرار الأرضي) يساوي صفراً بينما نجد أنه يساوي 1 لنواة ${}^6_3\text{Li}$ أما في حالة نواة ${}^7_3\text{Li}$ الفردية فيساوي $\frac{3}{2}$. وهذا

يبين توافق النظرية مع التجربة .

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e c}, \quad \mu_p = \frac{e\hbar}{2m_p c}$$
كما وأن هذا النموذج يتوقع أن يكون العزم المغناطيسي للنواة في حدود المغناطون النووي وذلك ما أكدته التجربة. أما إذا كان هذا العزم يقع في حدود مغناطون بوهر فإن هذا دليل على وجود الالكترن داخل النواة وذلك لم تثبتته التجربة حتى الان .

كما ويوجد دليل اخر على امكانية وجود النيوترون داخل النواة وذلك إذا قمنا بحساب الطول الموجي للنيوترون - كما بينا في حالة البروتون - إذ سوف ينتج أن هذا الطول يساوي تقريباً طول موجة البروتون (لأنهما متساويان في الكتلة تقريباً). وهكذا تتأكد صورة النواة الحالية وهي انها تتكون من بروتونات ونيوترونات .

ختاماً نود أن نقول أن هناك مشكلة تواجه هذا النموذج الجديد للنواة، وتمثل في وجود قوة التناظر الكهربى بين البروتونات المتشابهة الشحنة داخل النواة والتي تعمل على تمزيقها وبعثرة مكوناتها. ولكن الاستقرار النووي للعناصر وبقاء المادة منذ الأزل دليل على وجود قوة أخرى ذات كنه لا نعرفه - بعد - تعمل على لم شمل

$$\mu_n \ll \mu_p, \quad F_n \gg F_{electrostatic}$$

غير
مبارك

سؤال

3)

البروتونات بين البروتونات وهي قوة ذات مدى قصير
من القوة الكهربائية ذات المدى الأطول. في الباب التالي سنحاول فك
عروض هذه القوة النووية التي أفردنا لها هذا الباب.

3.2 حجم النواة:

عندما استنتج رذرفورد علاقته (معادلة 2.1) افترض أن كلا من
جسيم α والنواة الهدف عبارة عن شحنة نقطية، ومن ثم فإن القوة
الكهربية بينهما هي قوة التنافر التي تتبع قانون التربيع العكسي
عند أية مسافة بين الشحنتين. فإذا حدث اختلاف في هذا القانون فإن
ذلك يعني أنه عند مسافة معينة (تقارن بنصف قطر النواة) فإن
الجسيمين يتصادمان مع بعضهما بعضاً، ومن ثم تصبح القوة المؤثرة
عليهما ليست كهربية فقط. لقد بينت تجارب رذرفورد وشادويك عام
1925 م أن هذا القانون يظل صحيحاً حتى مسافات تقارب حوالي
 1.2×10^{-14} متراً، وذلك عندما تقذف شرائح النحاس بجسيمات α .
وبالتالي اقترحنا أن يكون نصف قطر نواة النحاس أصغر من هذا
الرقم. وفي حقيقة الأمر لو أمكننا زيادة طاقة جسيمات α فإنها
تستطيع التغلب على قوة التنافر الكهربائي بينها وبين النواة (ما
يسمى بحاجز كولوم) ومن ثم تستطيع اقتحام هذا الحاجز والتفاعل مع
النواة ومن ثم لا يتبع التصادم في هذه الحالة قانون كولوم. وقد أمكن
التحقق من ذلك بالفعل، إذ أننا نستطيع الآن تعجيل جسيمات α في
المعجلات النووية كالسيكلوترون (انظر الباب الثامن عشر) إلى
طاقات كبيرة، ومن ثم نستطيع دراسة تفاعلها مع النواة عند مسافات
قصيرة. إن مثل هذه الدراسات تتيح لنا معرفة الكثير عن النواة
وشكلها وحجمها.

4.2 طرق تعيين نصف قطر النواة:

وعلى كل حال ليست هناك وسيلة ما لقياس حجم النواة مباشرة إلا
أننا في محاولتنا لتقدير نصف قطر النواة ومن ثم تقدير الحيز الذي
تشغله (حجمها) إنما نعتمد على طريقتين عمليتين رئيسيتين وهما :-

3/3

(أ) الطريقة النووية : ومنها نحصل على ما يسمى بنصف قطر
القوة النووية. وهنا نقوم بدراسة تشتت الجسيمات النووية من
النواة تحت تأثير القوة النووية وتتلخص التجارب العملية
المستخدمة لذلك فيما يلي:

1. Φ تشتت جسيمات α .
2. $T_{1/2}$ اعمار النصف لمشعات α .
3. n -scattering تشتت النيوترونات السريعة عن الأنوية.

(ب) الطريقة الكهرومغناطيسية : ومنها نحصل على ما يسمى
بنصف قطر الشحنة. وهنا نقوم بدراسة تشتت الجسيمات من
النواة تحت تأثير شحنة البروتونات الموجبة بها.

- وتتلخص التجارب العملية المستخدمة لذلك فيما يلي:
1. α -scattering تشتت الالكترونات عالية الطاقة عن الأنوية.
 2. ρ تشتت البروتونات عن الأنوية.
 3. X_p أشعة x المنطلقة من الذرة الميزونية.
 4. I_{isomer} الأنوية المرآتية.
 5. I_{isotopes} إزاحة خطوط الطيف في نظائر العنصر.

سوف نفترض أولاً أن النواة تأخذ شكلاً كروياً وذلك وفق نموذج القطرة
السائلة (انظر البابين الخامس والسادس). وبالتالي تعتبر النواة
كقطرة سائلة يتناسب حجمها مع عدد النيوكليونات المكونة لها. ومن
ثم يزداد حجمها كلما اضيفت إليها نيوكليونات جديدة. أي أن:

$$V \propto A \quad (\text{atomic weight})$$

حيث V حجم النواة

وباعتبار أن النواة كروية الشكل، ونصف قطرها R فإن:

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3$$

$$A \propto \frac{4}{3} \pi R^3 \quad \text{أي أن}$$

$$R \propto A^{1/3} \quad \text{وينتج أن}$$

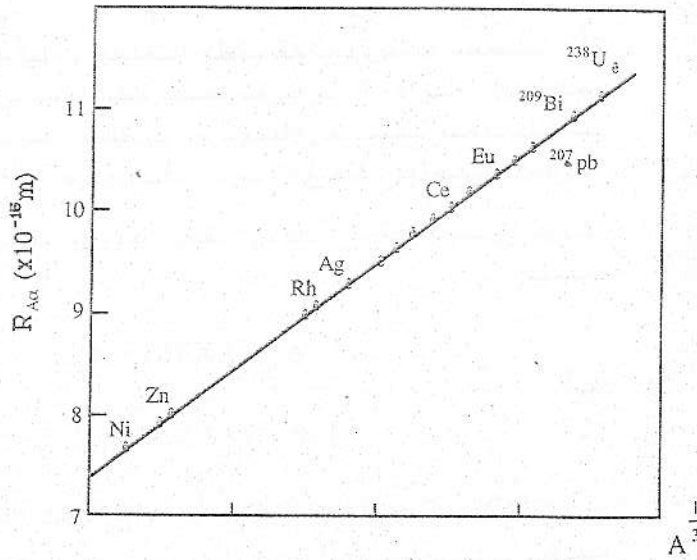
متر

وسنتناول فيما يلي بعض الطرق السابقة المستخدمة لتمييز نصف قطر النواة:

1. تشتت جسيمات α :

بيننا فيما سبق كيف درس جايجر - مرسدن تشتت جسيمات α من الأنوية، وكذلك نظرية رذرفورد. ولن نعرض هنا للتفاصيل الرياضية ونورد فقط نتائج هذه التجارب.

يبين الشكل (2.2) العلاقة بين $A^{1/3}$ للمادة الهدف ونصف قطر التفاعل بين جسم α والنواة الهدف والذي يساوي مجموع نصفي قطري النواة وجسيم α ($R_{\alpha\alpha}$) حيث نجد أن هذه العلاقة عبارة عن خط مستقيم ميله يساوي 1.414 فيرمي.



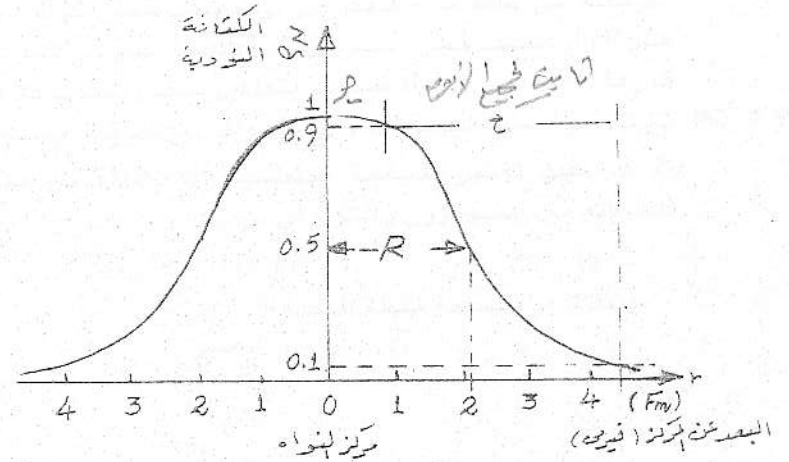
الشكل (2.2) العلاقة بين $A^{1/3}$ و $R_{\alpha\alpha}$ حيث $A^{1/3}$ هي الوزن الذري للمادة الهدف، $R_{\alpha\alpha}$ هي نصف قطر التفاعل للتصادم المرن بين جسيمات α ومادة الهدف

α -scattering

$$R = r_0 A^{1/3}, \quad r_0 \text{ فيرمي} \quad (3.2)$$

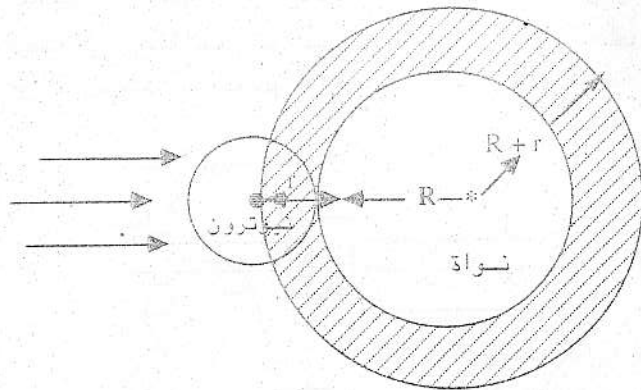
حيث

r_0 ثابت يمكن تعيينه عملياً باستخدام أي من الطرق السابقة. وقبل استعراض بعض من هذه الطرق بالتفصيل، ينبغي أولاً توضيح مفهوم الحجم النووي وكيف تتوزع الجسيمات والشحنات داخل النواة. وهل تختفي الشحنة وكذلك الجسيمات فجأة عند بعد معين من مركزها؟ وبمعنى آخر هل هناك حدوداً واضحة المعالم للنواة؟ سوف يتضح لنا بعد قليل أن توزيع المادة النووية، وكذلك الشحنة في النواة يأخذ شكلاً كالمبين بالشكل (1.2) حيث نجد أن المادة النووية تأخذ توزيعاً معيناً داخل النواة، بحيث تكون هذه المادة مركزة عند مركز النواة ثم يهبط هذا التركيز إلى الصفر بالتدرج كلما ابتعدنا عن المركز.



$$t \approx 0.9 \rho \quad t \approx 0.1 \rho$$

الشكل (1.2) توزيع المادة النووية داخل النواة



الشكل (2. 3) مساحة مقطع التصادم بين النيوترون والنواة

فإذا استطعنا قياس مساحة مقطع التصادم عملياً فإنه يمكننا تعبير نصف قطر النواة (R) لو عرف نصف قطر النيوترون (r). ويمكن أن يتم ذلك بوضع كاشف عن النيوترونات خلف الشريحة ومن ثم تقدير التوهين الناتج في شعاع النيوترونات. وبإجراء التجربة لعدد من الأنوية ورسم علاقة بين نصف القطر النووي المقاس (R) و $A^{\frac{1}{3}}$ أمكن استنتاج أن:

$$R = 1.37 \times 10^{-15} A^{\frac{1}{3}} \text{ m}$$

أي أن:

$$r_0 = 1.37 \times 10^{-15} \text{ m} \quad (7.2)$$

يبين الشكل (4. 2) العلاقة بين $A^{\frac{1}{3}}$ و R حيث نحصل على خط مستقيم ميله يساوي $1.37 \times 10^{-15} \text{ m}$.

أي أن

$$R_{\text{Av}} = 1.414 \times 10^{-15} A^{\frac{1}{3}} + 2.19 \times 10^{-15} \text{ m} \quad (4.2)$$

$$R = 1.414 \times 10^{-15} A^{\frac{1}{3}} \quad \text{أي أن}$$

ومنها ينتج أن:

$$r_0 = 1.414 \times 10^{-15} \text{ m} \quad (5.2)$$

2. تشتت النيوترونات السريعة :

يعطي تشتت النيوترونات السريعة عن الأنوية معلومات قيمة عن تركيب هذه الأنوية ومن ثم عن القوة النووية. فالنيوترونات جسيمات غير مشحونة وبالتالي عند تشتتها عن النواة فهي لا تتأثر بالقوة الكهربائية ومن ثم عند اقترابها من النواة فسوف تؤثر عليها القوة النووية. وبالتالي عندما نتشتت هذه النيوترونات عن النواة فسوف نحصل على نصف القطر النووي للنواة.

لنفترض أن حزمة من النيوترونات السريعة قد اسقطت على شريحة من مادة ما. ولنفترض أن نصف قطر نواة من الشريحة هي R وأن نصف قطر النيوترون r وعندما يقترب النيوترون لمسافة قدرها (R+r) من النواة فسوف يتفاعل معها ويحدث له امتصاص أو تشتت بواسطة الجهد النووي للنواة. وذلك كما يتضح من الشكل

(3. 2) حيث تعتبر المساحة الهندسية $\Pi(R+r)^2$ من مساحة مقطع التصادم بين النيوترون والنواة أي أن :

$$\sigma = \Pi(R+r)^2 \quad (6.2)$$

حيث σ هي مساحة مقطع التصادم.

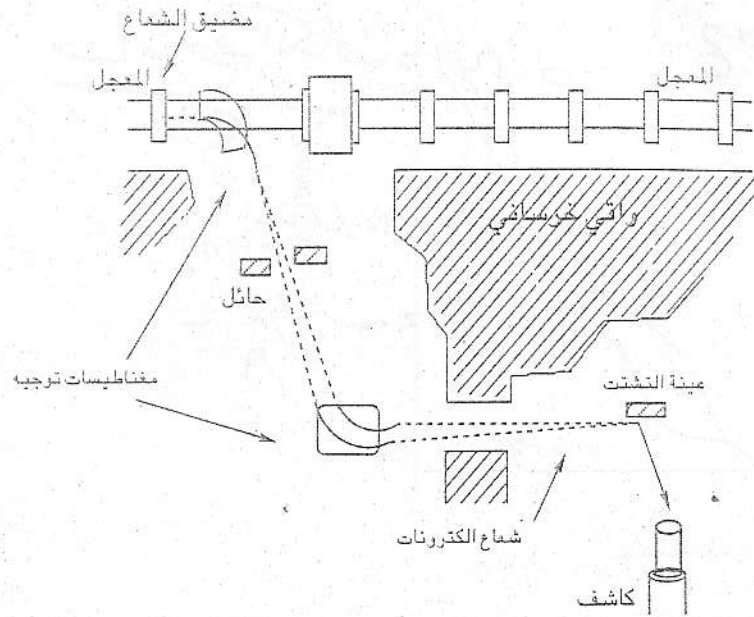
$$\sigma = b \pi n$$

n-scatter

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_{sc}$$

(موا)

الانوية حيث درس التوزيع الزاوي Angular Distribution لتشتت
الالكترونات (الطاقة أكبر من 100 م أ ف) في ستانفورد بواسطة
هوفستادر R. Hofstadter وفريقه عام 1953 حيث يوضح الشكل (2 . 5)

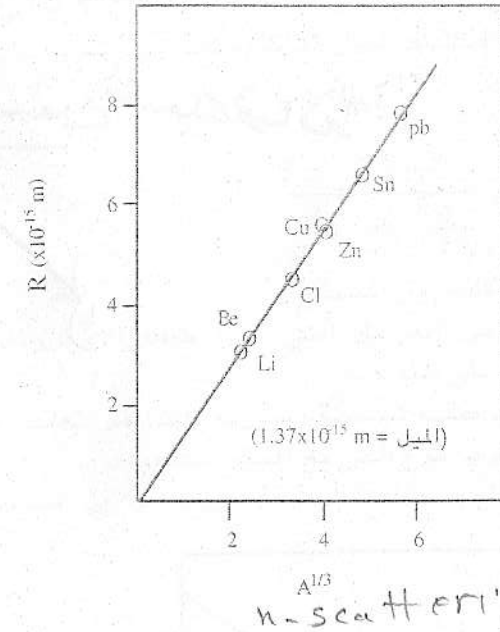


الشكل (2 . 5) منظومة قياس تشتت الالكترونات بواسطة هوفستادر

منظومة القياس. يستخدم شعاع وحيد الطاقة من الالكترونات
المسرعة في المعجل الخطي لستانفورد لقتف شرائح رقيقة من المادة
المراد اختبارها. هذا الشعاع عبارة عن نبضات تحوي كل منها حوالي
 2×10^8 الكترون وعددها 60 نبضة في الثانية ويستخدم مغناطيسان
لتوجيه شعاع الالكترونات شدة كل منهما حوالي 1 تسلا. حيث يوجه
الشعاع إلى حجرة التشتت التي تحتوي الشريحة المراد اختبارها.
أما الالكترونات المشتتة فيمكن تسجيلها بواسطة الكاشف الذي

يوضح عند زاوية التشتت لتمام الشعاع المسافر

يوضح عند زاوية التشتت لتمام الشعاع المسافر



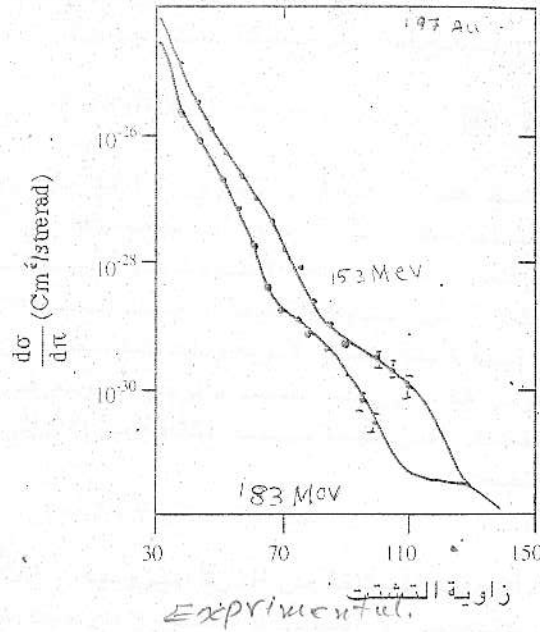
الشكل (2 . 4) العلاقة بين $A^{-1/3}$ و R الناتجة عن تشتت النيوترونات السريعة

3. تشتت الالكترونات عالية الطاقة :

بيننا فيما سبق أن الالكترونات لا يمكنها أن تكون من ضمن سكان
النواة وذلك لأن الطول الموجي لها أكبر كثيراً من نصف قطر النواة.
ولكننا إذا استطعنا أن نزيد من طاقة الالكترونات (باستخدام
المعجلات) فإننا نستطيع أن ننقص طولها الموجي إلى ذلك الذي يقع في
حدود نصف قطر النواة وبالتالي إذا سقطت هذه الالكترونات على
النوية فسوف تتفاعل معها ويحدث تشتت يعبر في الحقيقة عن القوة
الكهربية بينها وبين الالكترونات ومن ثم فسوف نحصل على معلومات
عن توزيع الشحنة الكهربائية داخل النواة. كما بينت التجارب العملية
أن النواة ليست عبارة عن شحنة نقطية ولكن هناك حجماً معيناً لها
وأن الشحنات فيها تتوزع بانتظام عليها.

كما في تجارب الكهربية التي تقيس الفلج مع تشتت الالكترونات

المقطع التفاضلي الخاصة بتشتت الالكترونات عن شرائح الذهب كدالة في زاوية التشتت وذلك بافتراض توزيعات مختلفة للشحنة على النواة. بينما نبين في الشكل (7.2) النتائج العملية لتشتت الالكترونات عن شرائح الذهب.



الشكل (7.2) النتائج العملية لتشتت الالكترونات عن شرائح الذهب

وبمقارنة الشكلين السابقين يتضح لنا أن التوزيع المنتظم للشحنة على النواة يتفق جيداً مع النتائج العملية. بينما يتضح أيضاً أنه لا يوجد اتفاق بين التجربة وسائر النظريات الأخرى التي تعتبر شحنة نقطية أو توزيعاً جاوسياً أو اسياً للشحنة على النواة. تعطى الشحنة الكلية (q) للنواة بالعلاقة:

$$q = \int_0^R 4 \pi r^2 \delta(r) dr \quad (9.2)$$

حيث

زاوية تشتت الالكترونات (كما في تجارب

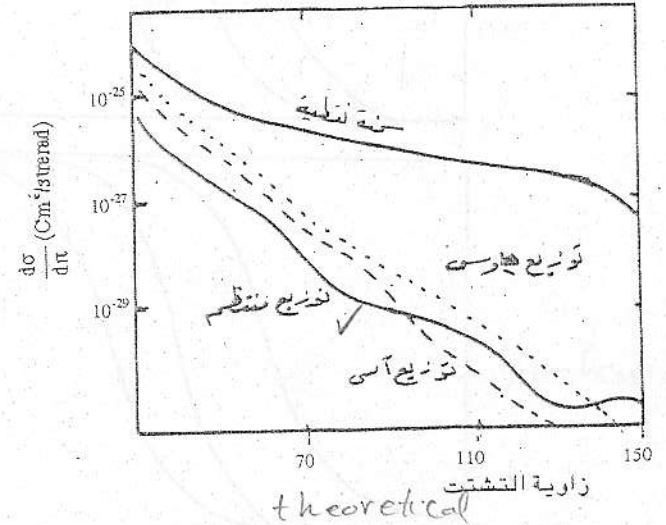
$$d\sigma = \sigma(\theta) d\Omega$$

حيث حسابات نظرية لتعيين مساحة مقطع التفاعل التفاضلي $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ differential Cross-section للتشتت المرين للالكترونات عن الأنوية حيث

$$C = \sigma_{\text{A}} I \quad \text{تعطى بالعلاقة: } \frac{d\sigma}{d\Omega}$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{|f|^2}{\cos^2\left(\frac{\theta}{2}\right)}, \quad I = I_0 e^{-\mu x} \quad (8.2)$$

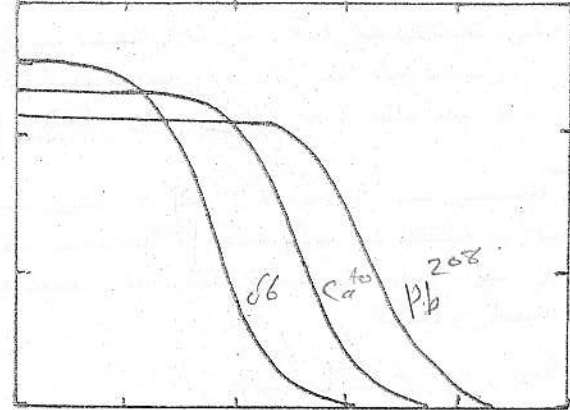
حيث f هي سعة موجة الالكترون المشتت. وتعتمد f على كثير من العوامل التي منها طاقة الالكترونات الساقطة وتوزيع الشحنة على النواة. وباختيار عدة توزيعات ممكنة للشحنة ومقارنة تلك التوزيعات مع التجارب العملية يمكن معرفة نوع التوزيع الممكن للشحنات. يبين الشكل (6.2) نتائج الحسابات النظرية للتوزيع الزاوي لمساحة



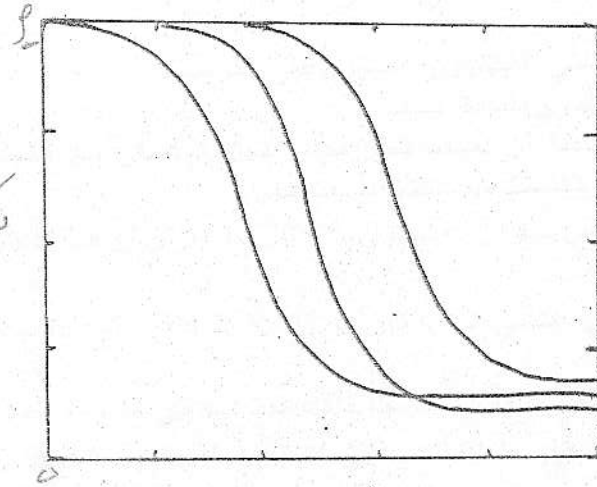
الشكل (6.2) التوزيع الزاوي لمساحة المقطع التفاضلي لمختلف توزيعات الشحنة على النواة.

(8.2) الكثافة الحجمية للشحنة على بعد قدره r من مركز النواة.
 R نصف قطر النواة ويساوي المسافة التي تهبط عندها كثافة
المادة النووية (أو الشحنة) إلى نصف قيمتها عند المركز
(انظر الشكل (1.2))

يبين الشكل (8.2) كثافتا الشحنة النووية والمادة النووية للنواة



Charge density
(e-scatter)



nuclear density

الشكل (8.2) الكثافة الشحنية والنوية للنواة في ضوء

$$t = 0.9 \rho_0 \text{ to } 0.1 \rho_0 \text{ (المادة الموزونة)}$$

في ضوء النتائج العملية لتشتت الالكترونات عالية الطاقة. حيث يتضح التوزيع المنتظم للشحنات ومن ثم للنوكليونات (بافتراض توزيع متساوي للبروتونات والنيوترونات) داخل النواة ويمكن حساب R من النتائج العملية السابقة حيث وجد أن:

$$R = 1.07 \times 10^{-15} A^{\frac{1}{3}} \text{ m} \quad (10.2)$$

لاحظ هنا أن قيمة r_0 تساوي 1.07 فيرمي وهي أقل من قيمتي سابقتيها معادلة (5.2)، (7.2) ويرجع ذلك إلى أن هذه القيمة تعتمد على القوى الكهربائية بين الالكترونات والبروتونات.

كما وتبين النتائج السابقة أن سمك السطح Surface thickness للنواة هو قيمة ثابتة لجميع الأنوية وذلك كما يتضح من الشكلين (8.2.1، 8.2.2) ويرمز هنا إلى هذا السمك بالرمز t ويعرف على أنه المسافة بين النقطتين التي تهبط بينهما الكثافة من 90% إلى 10% من قيمتها. كما ويتضح أن:

$$t = (2.4 \pm 0.3) \times 10^{-15} \text{ m} \quad (11.2)$$

4. أشعة x المنطلقة من الذرة الميزونية: $\lambda = \frac{h}{p}$

يشبه الميزون السالب μ^- الالكترون من حيث شحنته السالبة وعزمه المغزلي $\left(\frac{1}{2} \hbar\right)$ إلا أنه يختلف عن الالكترون في أن له كتلة هائلة تبلغ حوالي 106 Mev فإذا دخل هذا الميزون إلى المادة وامتص فيها (بعد أن يفقد طاقته إثر التصادمات المتتالية معها) فإنه يقع أسيراً في أحد مدارات بوهلر حول النواة. وبالتالي يتكون ما يعرف بالذرة الميزونية. التي تختلف عن الذرة العادية في طبيعة المدارات الذرية إذ أن كتلة الميزون الكبيرة - بالنسبة لكتلة الالكترون - تجعل مدارات الميزونات أقرب إلى النواة من مدارات الالكترونات. وفي بعض الحالات يمكن للميزون أن "يخترق" النواة نفسها. فقد وجد أنه في حالة الرصاص عندما يكون الميزون في المدار الذري الأقل فإنه يقضي نصف وقته تقريباً داخل النواة. وبالتالي يعتبر الميزون مجسماً مناسباً لدراسة توزيع الشحنات على النواة.

كما عكس للميزون السالب μ^- من مدار ذري μ^- إلى μ^+ وهو عندما

وبافتراض أن النواة ذات حجم معين ونصف قطر R يعطى بالعلاقة

$$R = r_0 A^{1/3} \quad \text{فإن } r_0 \text{ الناتجة من أشعة } x \text{ للذرة الميزونية تأخذ القيمة:}$$

$$r_0 = 1.2 \times 10^{-15} \text{ m} \quad (13.2)$$

5. إزاحة خطوط الطيف في نظائر العناصر:

من المعروف أن نظائر العنصر تختلف في عدد النيوترونات بينما لها جميعاً عدد ذري واحد أي عدد واحد من البروتونات. وبالتالي فإن توزيع البروتونات في النواة يختلف لنظائر العنصر الواحد. ومن ثم فسوف تجد الإلكترونات في كل نظير نفسها موجودة في مجال كهربائي نووي مختلف ومن ثم فإننا نتوقع وجود إزاحة صغيرة - يمكن قياسها - في خطوط أطيف النظائر المختلفة. وبالتالي يمكن استخدام تلك الإزاحات لتعيين نصف قطر النواة. حيث وجدت القيمة:

$$r_0 = 1.2 \times 10^{-15} \text{ m} \quad (14.2)$$

من النتائج السابقة نستطيع إجراء احصاء بسيط نسجله في الجدول رقم (1.2) حيث نبين قيمة r_0 المقاسة بالطرق المختلفة.

الجدول رقم (1.2) قيمة r_0 المقاسة بالطرق المختلفة

الطريقة	r_0 (x 10 ⁻¹⁵ m)
أولاً: الطريقة النووية	
1. تشتت جسيمات α .	1.414
2. اعمار النصف لمشعات α .	1.48
3. تشتت النيوترونات السريعة.	1.37
ثانياً: الطريقة الكهرومغناطيسية	
1. تشتت الإلكترونات السريعة.	1.07
2. تشتت البروتونات.	1.25
3. أشعة x المنطلقة من الذرة الميزونية	1.20
4. الأنوية المرآتية.	1.28

5- إزاحة خطوط الطيف من نظائر العناصر

يفعل ذلك يطلق أشعة x المميزة. فمثلاً عندما ينتقل الميزون بين المدارين 1s, 2p فإنه يطلق أشعة x معينة وحيث أن المدار 1s قريب من النواة ومن ثم يتأثر كثيراً بتوزيع الشحنات عليها فإن دراسة أشعة x الناتجة سيتيح معرفة معلومات عن هذا التوزيع ومن ثم يمكن تعيين نصف قطر النواة الكهرومغناطيسي (R). وتستخدم كاشفات يوديد الصوديوم (ثاليوم) NaI (TL) للكشف عن أشعة x الناتجة عن الاشتقالات الميزونية. أما الميزونات فنحصل عليها من تصادمات الجسيمات المشحونة المسرعة في المعجلات مع أهداف من مواد معينة ثم يوضع هدف من المادة المراد دراستها أمام الميزونات التي تمتص فيها وتكون الذرة الميزونية وتطلق بعد ذلك أشعة x التي يمكن الكشف عنها بكاشف NaI (TL).

أثبتت النتائج المتحصل منها أن النواة لا يمكن أن تكون شحنة نقطية وإنما ذات توزيع منتظم كما بينا سابقاً. إذ أنه حسب نظرية بوهر وبافتراض أن النواة عبارة عن شحنة نقطية فإن نصف قطر الذرة r_0 ذي الرقم n يعطى بالعلاقة:

$$r_n = \frac{137^2 m_e n^2}{m_\mu z} \times 2.82 \times 10^{-15} \text{ m} \quad (12.2)$$

حيث

m_μ, m_e هما كتلتي الإلكترون والميزون على الترتيب.
z العدد الذري للمادة الهدف.

وتبين هذه المعادلة أن نصف قطر مدار الميزون أصغر من مثيله للإلكترون بمقدار يتناسب مع كتلتي كل منهما. في حالة الرصاص نجد أن r_1 تساوي $3.07 \times 10^{-15} \text{ m}$ أي أن هذا المدار يقع داخل النواة!!!.

وفي حالة المدار الثاني $n = 2$ فإن $r_2 = 1.23 \times 10^{-14} \text{ m}$ أي أنه يقع بالقرب من النواة.

أما بالنسبة لطاقة أشعة x الناتجة فإننا نجد أنه في حالة الانتقال $2P_{3/2} \rightarrow 1S_{1/2}$ فإن الطاقة تساوي 16.41 م أ ف بينما نجد أن القيمة العملية لهذه الطاقة تساوي 6.02 م أ ف وبالتالي فالنواة لا يمكن

استخدام كل الشحنة النقطية

$$= \frac{e}{\sqrt{x^2 - 2xr \cos \theta + r^2}}$$

$$= \frac{e}{x \sqrt{1 - \frac{2r \cos \theta}{x} + \frac{r^2}{x^2}}}$$

ويمكن كتابة المعادلة السابقة على شكل مفكوك لاجنדר Legendre Polynomials حيث نجد أن:

$$\sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{r}{x}\right)^n P_n(\cos \theta) = \frac{1}{\left(1 - \frac{2r \cos \theta}{x} + \frac{r^2}{x^2}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (16.2)$$

وينتج أن:

$$\phi = \frac{e}{x} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{r}{x}\right)^n P_n(\cos \theta) \quad (17.2)$$

وتبين هنا مفكوك لاجنדר لبعض الرتب لدينا كما يلي:

$$P_0(\cos \theta) = 1$$

$$P_1(\cos \theta) = \cos \theta$$

$$P_2(\cos \theta) = \frac{3}{2} \cos^2 \theta - \frac{1}{2} \quad (18.2)$$

$$P_3(\cos \theta) = \frac{5}{2} \cos^2 \theta - \frac{3}{2} \cos \theta.$$

وبالتعويض في معادلة (17.2) ينتج أن:

$$\phi = \frac{e}{x} + \frac{er \cos \theta}{x^2} + \frac{er^2}{x^3} \left(\frac{3}{2} \cos^2 \theta - \frac{1}{2}\right) + \dots \quad (19.2)$$

يعبر الحد الأول في هذه المعادلة عن قيمة الجهد الكهروستاتيكي $\left(\frac{e}{x}\right)$

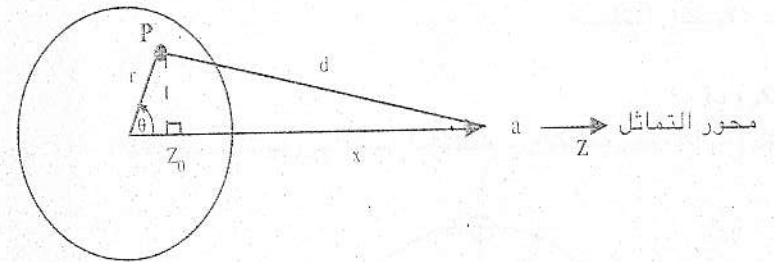
فإذا كان لدينا z بروتون فإن هذا الجهد يساوي $\frac{ze}{x}$.

أما الحد الثاني في هذه المعادلة فيعبر عن عزم ثنائي القطب الكهربائي Electric Dipole Moment حيث نجد أن:

يبين الجدول أن نصف القطر النووي أكبر من نصف القطر الكهرومغناطيسي. ففي حالة نصف القطر الكهرومغناطيسي فإن الجسيمات المشحونة (الالكترونات أو البروتونات) سوف تتأثر بالمجال الكهربائي للنواة والذي يتحدد بحجم ثابت لها وبقيمة معينة للشحنة النووية. أما في حالة نصف القطر النووي الذي يعتمد على حجم القوة النووية التي تؤثر على الجسيمات المقذوفة نحو النواة. وكبير نصف القطر هذا يعني أن القوة النووية تمتد إلى مسافة أكبر من الحجم الفعلي للنواة أي أن مجال هذه القوة أكبر من حجمها الفيزيائي. ومن ثم تبدو النواة أكبر من حجمها الحقيقي !! لقد وجد أن مدى هذه القوة النووية يمتد مسافة قدرها حوالي 1 فيرمي من المادة النووية.

5.2 العزوم الكهربائية النووية Electric Moments

تحتوي الأنوية على البروتونات وهي شحنات كهربائية موجبة، وبالتالي فإننا نتوقع أن يكون لهذه الأنوية عزوما كهربائية ومغناطيسية أيضا. ولمعرفة أنواع وقيم هذه العزوم الكهربائية فإننا نفترض أن لدينا نواة كما بالشكل (9.2) واننا نريد حساب الجهد



الشكل (9.2) العزوم الكهربائية للنواة

الكهربائي عند نقطة 'd' تبعد مسافة قدرها 'd' عن بروتون موجود على بعد قدره (r, θ) من مركز النواة. يعطى الجهد الكهروستاتيكي (ϕ) بالعلاقة:

$$\phi = \frac{e}{d} \quad (15.2)$$

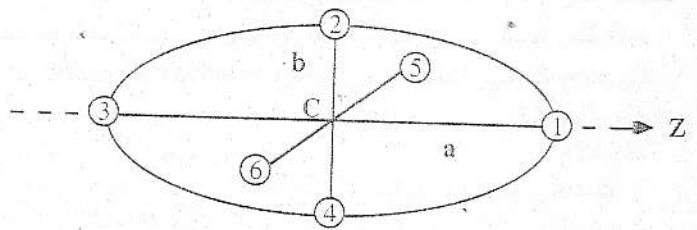
بحيث تكون البروتونات ذات الأرقام (4,3,2,1) في مستوى صفحة الكتاب، بينما تقع البروتونات (6,5) في مستوى عمودي عليها. ولنفترض أن نصف قطر النواة هو r . من الشكل نلاحظ أن مركبة اتجاه البروتونات (6,5,4,2) في اتجاه محور z تساوي الصفر، بينما يقع البروتونان (3,1) في اتجاه $-z$ على الترتيب. وباستخدام معادلة (20.2) نستطيع حسب قيمة Q حيث:

$$Q = \frac{e}{2} [(3r^2 - r^2) - r^2 + (3r^2 - r^2) - r^2 - r^2 - r^2] = 0$$

أي أن عزم رباعي القطب الكهربائي للنواة الكروية يساوي صفراً.

2. النواة المشوهة :

لنفترض الآن أن النواة قد تشوه شكلها بحيث أصبحت بيضاوية (Spheroid) كما بالشكل (2 . 11) حيث نجد أن النواة قد امتدت في اتجاه محور التماثل (z) أكثر من امتدادها في الاتجاه المتعامد عليه وهذا ما يسمى بالشكل البيضاوي الموازي (Prolate Spheroid) حيث نجد أن طول



الشكل (2 . 11) توزيع الشكل البيضاوي الموازي (المفلطح)

المحور الأكبر (Semimajor axis) هو a بينما نجد أن طول المحور الأصغر (Semiminor axis) هو b . لاحظ أن البروتونين (3,1) يقعان عند طرفي الشكل البيضاوي وعلى بعد قدره $(-a,a)$ من المركز.

وبتطبيق معادلة (20 . 2) يمكن إيجاد Q في هذه الحالة حيث نجد أن :

$$Q = \frac{e}{2} [(3a^2 - a^2) - b^2 + (3a^2 - a^2) - b^2 - b^2 - b^2] = 2e(a^2 - b^2) \text{ , } z = b$$

$$\sum e z = \sum e r \cos \theta$$

أما الحد الثالث فيتناسب مع $e r^2 \left(\frac{3}{2} \cos^2 \theta - \frac{1}{2} \right)$ ويمثل عزم رباعي القطب الكهربائي Electric Quadrupole Moment والذي يرمز له بالرمز (Q) . وهكذا بالنسبة إلى باقي الحدود.

وبصورة عامة يمكننا إيجاد عزم متعدد الأقطاب الكهربائي من الدرجة l

والذي يتناسب مع $\sum e_i z_i^l$ حيث z هي العدد الذري للنواة.

لقد لوحظ أن العديد من الأنوية لها عزم رباعي قطب كهربائي. وهذا لا يمكن أن ينتج عن شكل كروي للنواة. دعنا الآن نكتب Q على الصورة :

$$Q = \sum_i e \left(\frac{3}{2} z_i^2 - \frac{1}{2} r_i^2 \right) \quad \text{eb (20 . 2)}$$

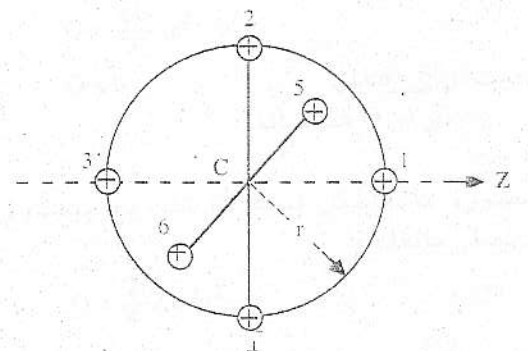
حيث : $z_i = r_i \cos \theta$

eb- هي وحدات قياس Q أي (الكرون . بارن).

وسنحسب الآن قيمة Q لترتيب بسيط من ستة بروتونات تتوزع على نواة تأخذ الأشكال التالية:

1. النواة الكروية :

يبين الشكل (2 . 10) توزيعاً كروياً منتظماً لستة بروتونات موزعة



الشكل (2 . 10) توزيع كروي منتظم لستة بروتونات

كما ويمكن إيجاد نصف قطر النواة المتوسط (R) من العلاقة:

$$R = \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2}} \quad (23.2)$$

مما سبق يتضح لنا أن قياس Q يعطينا معلومات مباشرة عن شكل النواة حيث نجد أن هذا الشكل:

1. بيضاوي موازي (المفلطح) عندما $Q > 0$
2. كروي عندما $Q = 0$
3. بيضاوي متعامد (المتطاوّل) عندما $Q < 0$

لقد لوحظ أن معظم الأنوية المشوهة تأخذ الشكل البيضاوي الموازي أما الشكل البيضاوي المتعامد فنادر الحدوث.

6.2 العزوم المغناطيسية النووية :

تحتوي النواة على شحنات كهربية موجبة. وعندما تتحرك الشحنة الكهربائية فإن تلك الحركة تولد مجالاً مغناطيسياً ولهذا فإننا نتوقع أن تمتلك النواة خواصاً مغناطيسية أيضاً. فإذا كان لدينا تياراً كهربائياً (i) يمر في حلقة دائرية نصف قطرها r فإن عزم ثنائي المغناطيس (Magnetic Dipole Moment) (μ) الناتج عنه يعطى بالعلاقة:

$$\mu = i a \quad (24.2)$$

حيث a هي مساحة الدائرة وينتج أن:

$$\mu = i \pi r^2 \quad (25.2)$$

فإذا كان التيار ناتجاً عن شحنة قدرها الكترون واحد (e) يدور بسرعة زاوية (ω) [بالتقدير الدائري لكل ثانية] فإن:

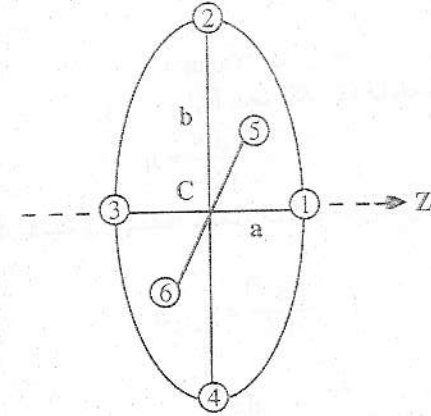
$$i = \frac{e}{T} = \frac{e}{\frac{2\pi}{\omega}} \quad (26.2)$$

حيث

$$T \text{ هي الزمن الدوري وتساوي } \frac{2\pi}{\omega}$$

$$Q = \frac{Ze}{3} (a^2 - b^2) \quad (21.2)$$

وحيث أن $a > b$ فإن $Q > 0$. أي أن Q هنا موجبة. لنفترض الآن أن النواة قد تشوه شكلها بحيث أصبحت بيضاوية ولكنها امتدت في الاتجاه المتعامد على محور التماثل أكثر من امتدادها في اتجاه هذا المحور وذلك كما بالشكل (12.2) حيث نجد أن $a < b$



الشكل (12.2) توزيع الشكل البيضاوي المتعامد (المتطاوّل)

وهذا ما يعرف بتوزيع الشكل البيضاوي المتعامد (Oblate Spheroid). ويمكن حساب Q كما سبق حيث ينتج أن:

$$Q = \frac{Ze}{3} (a^2 - b^2)$$

وحيث أن $a < b$ فإن: $Q < 0$ أي أن Q هنا سالبة.

وبصورة عامة يمكن إيجاد Q لتوزيع بيضاوي منتظم للشحنات حيث تعطى بالعلاقة:

$$Q = \frac{2}{5} Ze (a^2 - b^2) \quad (22.2)$$

أصبحت نواة الكروم

$$\mu_n = \frac{e\hbar}{2m_p}$$

حيث m_p كتلة البروتون.
وينتج أن:

$$\mu_n = 5.05095 \times 10^{-27} \text{ J.m}^2/\text{wb. (J/Tesla)}$$

فإذا افترضنا أن البروتون عبارة عن جسيم مشحون بشحنة موجبة وذا زخم مغزلي قدره $\pm \frac{1}{2}$ فإن عزمه المغناطيسي الناتج عن دورانه دوران μ يعطى بعلاقة مماثلة للعلاقة (29.2) مع استبدال μ_B بالمغناطون النووي μ_n أي أن:

$$\begin{aligned} \mu_{\text{دوران}} &= \ell \frac{e\hbar}{2m_p} \\ &= \ell \mu_n \end{aligned} \quad (31.2)$$

ويمكن استنتاج قيمة للعزم المغناطيسي للبروتون والناتج عن حركته المغزلية حيث نجد أن:

$$\begin{aligned} \mu_{\text{مغزلي}} (\text{بروتون}) &= 2.793 \mu_n \\ &= 14.1073 \times 10^{-27} \text{ J.m}^2/\text{wb} \end{aligned} \quad (32.2)$$

لقد وجد أن هناك عزمًا مغناطيسيًا للنيوترون وذلك ناتج عن حركته المغزلية. ويعطى هذا العزم بالعلاقة:

$$\mu_{\text{مغزلي}} (\text{نيوترون}) = -1.913 \mu_n \quad (33.2)$$

والإشارة السالبة هنا تبين لنا أن هناك نوعاً ما من الشحنة السالبة الطوافة على سطح النيوترون! وذلك بالرغم من علمنا بأن النيوترون عبارة عن جسيم متعادل كهربياً. فمن أين نشأت هذه الشحنة!؟

سوف نبين في الفصل القادم أن كلاً من البروتون والنيوترون يطلقان ويمتصان ميزونات معينة ويتحول كل منهما إلى الآخر. ففي حالة النيوترون نجد أنه يتحول وفق العلاقة (أنظر الباب الثالث):

$$i = \frac{e\omega}{2\pi} \quad (27.2)$$

وبالتعويض في (25.2) نجد أن:

$$\mu = \frac{e\omega r^2}{2} \quad (28.2)$$

ويمكن كتابة μ بدلالة الزخم الزاوي المداري Orbital Angular Momentum (L) حيث:

$$L = m\omega r^2 = \hbar m\omega$$

وبالتعويض في معادلة (28.2) نجد أن:

$$\mu = \frac{eL}{2m}$$

ويمكن الآن التعبير عن L بدلالة العدد الكمي ℓ حيث $L \equiv \ell\hbar$ ينتج أن:

$$\mu_{\text{دوران}} = \frac{\ell e\hbar}{2m} \quad (29.2)$$

وتعرف الكمية:

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m}$$

بمغناطون بوهر (Boher Magneton) وذلك في حالة الإلكترون (لاحظ هنا أن m هي m_e) وبالتعويض عن الثوابت نجد أن:

$$\mu_B = 9.2741 \times 10^{-24} \text{ J.m}^2/\text{wb (J/Tesla)} \quad (30.2)$$

وهي قيمة مغناطون بوهر.

كما أمكن قياس العزم المغناطيسي الناتج عن الحركة المغزلية (Spin) للإلكترون ووجد أن هذا العزم أكبر قليلاً من مغناطون بوهر حيث يعطى هذا العزم بالعلاقة:

$$\begin{aligned} \mu_{\text{مغزلي}} &= 2.0032 \times \mu_B \\ &= 9.2889 \times 10^{-24} \text{ J.m}^2/\text{wb. (J/Tesla)} \end{aligned} \quad (30.2)$$

يمكن الآن تطبيق ما سبق على كل من البروتونات والنيوترونات لحساب عزومها المغناطيسية. ونعرف أولاً كمية تعرف بالمغناطون النووي Nuclear Magenton (μ_n) حيث:

وينتج عن الحركة المدارية للجسم. أو حركته الخطية بصورة عامة زخم خطي (كمية حركة خطية) P تعطى بالعلاقة:

$$p = m v$$

حيث m كتلة الجسم و v سرعته. كما ويمكن تعريف كمية الحركة الزاوية المدارية Orbital Angular Momentum للجسم (L) بالعلاقة:

$$L = r \times p \quad (34.2)$$

$$L = r m v \sin \theta \quad \theta = 90^\circ$$

وحيث أن هذه الكمية يجب أن تكون على شكل كمات (Quantized) فإن:

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

أي أن:

$$r m v = \ell \hbar \quad (34'.2)$$

حيث ℓ هو عدد كمي يعبر عن كمية الحركة الزاوية الناتجة عن الحركة الخطية (المدارية) للجسم.

كما ويمكن الآن تعريف كمية الحركة الزاوية المغزلية (Spin) للجسم حيث نلاحظ من الشكل (13.2) كيف يمكننا أن نحرك المغزل بإدارته حول نفسه. وهذا ما يمكن أي يحدث للجسيمات كالبروتونات والالكترونات وغيرها. وهنا فإننا نعرف كمية الحركة المغزلية بأنها ناتجة عن دوران الجسم حول نفسه ونرمز لها بالرمز (s).

لاحظ أن كمية الحركة الزاوية (المغزلية أو المدارية) هي كمية متجهة حيث يتم الدوران حول محور معين. وبالتالي فإن متجه هذه الحركة سيأخذ اتجاهاً معيناً حسب اتجاه الحركة الدورانية وذلك وفقاً لقاعدة بريمة اليد اليمنى.

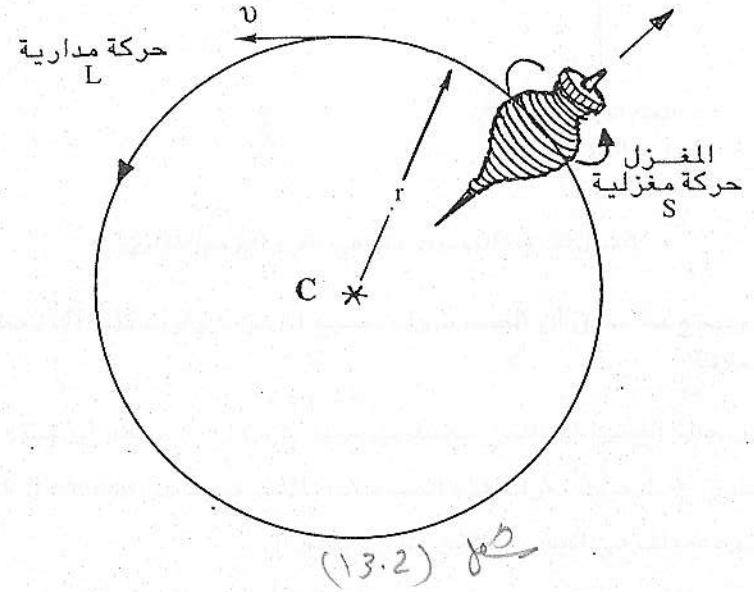
ويبين ذلك الشكل (14.2). ففي الشكل (أ. 14.2) نعتبر أن العزم الزاوي إلى أعلى (Spin up) أما الشكل (ب. 14.2) نعتبر أن العزم الزاوي إلى أسفل (Spin down).

$$n \longrightarrow p + \Pi^{\oplus} \longrightarrow n$$

وبالتالي يمكن الآن استنتاج وجود شحنة سالبة تطوف حول النيوترون تؤدي إلى ظهور العزم المغناطيسي المغزلي السابق (2.33). أما الحركة الدورانية للنيوترون في مدار ما فلا ينتج عنها عزم مغناطيسيا وذلك لأنه جسيم متعادل.

7.2 العزوم الزاوية (الزخم الزاوي) Angular Momenta:

لنفترض أن هناك جسماً يتحرك بسرعة v حول مسار دائري نصف قطره (r) كما بالشكل (13.2) وفي نفس الوقت يدور حول نفسه حركة مغزلية. وهذه الحركة تشبه حركة الأرض حول الشمس. فعندما تدور الأرض حول نفسها فإن ذلك ينتج عنه تعاقب الليل والنهار وعندما تنزلق في نفس الوقت في مدار حول الشمس مرة كل سنة، فإن ذلك ينتج عنه تعاقب الفصول الأربعة.

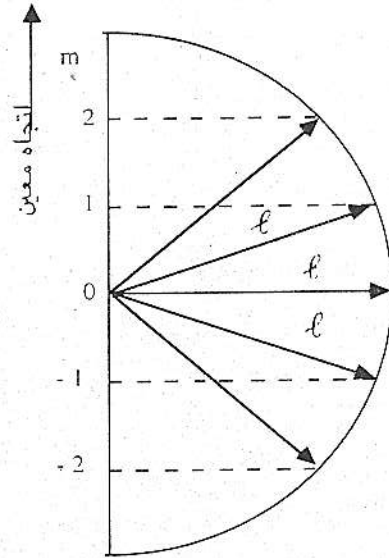


حيث تمثل القيمة $\frac{1}{2} +$ اتجاه العزم الزاوي المغزلي إلى أعلى بينما
تمثل القيمة $\frac{1}{2} -$ الاتجاه إلى أسفل.

عملياً لا يمكن قياس (L) بطرق مباشرة وإنما يمكننا قياس مركبات
هذه الكمية في اتجاه معين. وتأخذ قيم هذه المركبات المختلفة أياً من
القيم $m h$. حيث m هو عدد كمي صحيح يقع بين $(-L, L)$ بما في ذلك
الصفري.

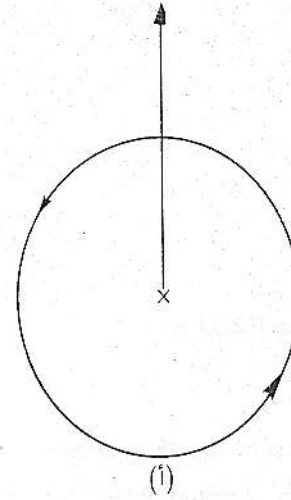
يبين الشكل (2 . 15) المركبات (m) الممكنة للعزم الزاوي في اتجاه
معين.

حيث نبين على سبيل المثال القيم الممكنة (m) إذا كانت $L = 2$. حيث
نجد أن هناك خمس مركبات لهذا العدد الكمي وهي $(-2, -1, 0, 1, 2)$.
وقد سميت m بالعدد الكمي المغناطيسي لأننا غالباً ما نقيس هذه
المركبات في اتجاه المجال المغناطيسي المؤثر.



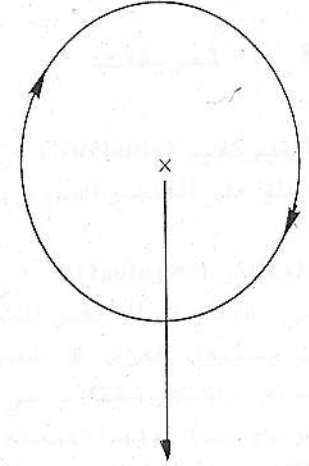
الشكل (2 . 15) المركبات الممكنة للعزم الزاوي في اتجاه معين

العزم إلى أعلى



(أ)

العزم إلى أسفل
(ب)



الشكل (2 . 14) التمثيل الاتجاهي للعزم (الزخم) الزاوي

وينتج مما سبق أن الجسم سوف يصبح له عزماً زاوياً كلياً (J) يعطى
بالعلاقة:

$$J = \ell + s \quad (35 . 2)$$

ولعظم الجسيمات التي سنتعامل معها (e, p, n, ..) نجد أن قيمة S
تساوي $\pm \frac{1}{2}$ حيث تعرف هذه الجسيمات بالفيرميونات (Fermions) كما

سنوضح ذلك في الباب الثامن عشر وينتج أن:

$$J = \ell \pm \frac{1}{2} \quad (35' . 2)$$

4. الأيزوتون (Isoto Ne)

هي نيوكلايدات لها نفس عدد النيوترونات N ولكنها تختلف في عدد الكتلة A (وإلا سنحصل على العنصر نفسه). ومن الأمثلة على ذلك: ^{15}N , ^{16}O

5. الأيزومار (Isomer)

هي نيوكلايدات لها نفس عدد البروتونات والنيوترونات (نفس عدد الكتلة A) إلا أنها تتواجد في حالات إثارة مختلفة، حيث يمكنها الانتقال من حالة إلى حالة إثارة أخرى (أو إلى مستوى الاستقرار الأرضي) عن طريق الانتقالات الأيزونية التي غالباً ما ينتج عنها أشعة γ (أنظر الباب العاشر). وبالتالي فإن الأيزومار هو نواة العنصر نفسه ولكنها تتواجد في حالات إثارة مختلفة تكون في الغالب ذات أنصاف أعمار ممكنة القياس بسهولة (تتراوح بين 10^{-14} ثانية ويضع دقائق أو أكثر).

Nuclide = نواة العنصر
 Z Isotopes
 A Isobars — Mirror nuclei
 N Isotone
 Isomer (excited state)

لاحظ هنا أن عدد المركبات (m) يعطى بالعلاقة:

$$m = 2\ell + 1 \quad (36.2)$$

لاحظ أن :

$$-\ell \leq m < \ell$$

$$\ell = 0, 1, 2, \dots$$

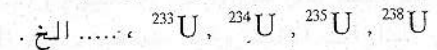
8.2 تعريفات :

1. النيوكلايد (Nuclide)

تطلق على العنصر النووي ذي العدد Z وعدد الكتلة A .

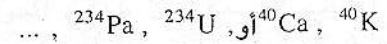
2. النظائر (Isotopes)

هي نيوكلايدات لها نفس العدد الذري Z (ولهذا تكتب أحياناً $Izotopes$) حيث يستبدل الحرف s بالحرف Z ليبدل على تساوي العدد الذري Z للنظائر ولكنها تختلف في عدد الكتلة A (أي تختلف في عدد النيوترونات). وبهذا تتمتع النظائر بنفس الخواص الكيميائية كالتكافؤ والنشاط الكيميائي (لأن لها نفس عدد الإلكترونات) بينما تختلف في الخواص الفيزيائية كالكتلة. وتوجد للعنصر غالباً أعداد كبيرة من النظائر بعضها يتواجد طبيعياً والآخر يمكن تحضيره صناعياً وهناك العديد من التطبيقات لكل منها. فعلى سبيل المثال نجد أن لليورانيوم الكثير من النظائر نذكر منها :



3. الأيزوبار (Isob Ar)

هي نيوكلايدات لها نفس عدد الكتلة A (ولذلك استبدل الحرف a في اسمها بالحرف A مع وضع شرطة تحته لتدل على تساوي هذه العناصر في عدد الكتلة A) ولكن هذه العناصر بالطبع تختلف في العدد الذري Z ومن الأمثلة على ذلك :



الباب الثالث القوى النووية

توجد الأنوية في حالة الاستقرار - باستثناء الأنوية الثقيلة المشعة - وهذا يعني أن هناك طاقة ترابط نووي تعمل على ربط مكونات النواة مع بعضها البعض وتبلغ هذه الطاقة بضعة ملايين من الإلكترونات الفولطية (م أ ف) . وهذا يؤكد وجود قوة تجاذب من نوع ما تعمل بين مكونات الأنوية .
ويمكن تقدير هذه الطاقة لو افترضنا على سبيل المثال أن قطر النواة حوالي 5 فيرمي ($1F = 10^{-15} m$) فإنه باستعمال مبدأ دي بروجلي نجد أن:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

وباعتبار أن قطر النواة يساوي الطول λ الموجي فإنه يمكن حساب P ومن ثم نحسب الطاقة (T) حيث:

$$T = \frac{p^2}{2m} \\ = \frac{h^2}{2m\lambda^2}$$

و m هي وحدة كتلة ذرية ($1.6 \times 10^{-27} Kg$)

وينتج أن: $T \approx 30 Mev$

وهذه طاقة هائلة. فما هو مصدرها؟

دعنا نستعرض القوى المعروفة في الطبيعة علنا نجد تلك المسببة للقوة النووية السابقة.

1. قوة الجذب بين الجسيمات:

إذا كان لدينا جسمين تفصلهما مسافة قدرها r فإن قوة الجاذبية بينهما (F) تعطى بالعلاقة:

1. احسب أنصاف أقطار النوى التالية: ^{12}C , ^{239}Pu , ^{234}U .
2. احسب العزم المغناطيسي الناتج عن الإلكترون في ذرة الهيدروجين (افترض أن سرعة الإلكترون المدارية تساوي $(1.2 \times 10^8 m/s)$). ثم عبر عن هذا العزم بدلالة مغناطون بوهر. ثم احسب هذا العزم بافتراض أن الإلكترون يحتل المدار k (في حالة p).

3. قارن بين حجمي نواة وذرة اليورانيوم - 235.

4. احسب ارتفاع حاجز كولوم بين كل من: (أ) البروتونات $\frac{ZeZe^2}{R}$ (ب) أشعة α ونواتي الذهب ($Z=79$) والالمنيوم ($Z=13$)

5. تنبعث جسيمات α من البولونيوم - 210 بطاقة قدرها 5.3 م أ ف فإذا سقطت هذه الجسيمات على شريحة من الذهب سمكها 10^{-6} سم. احسب النسبة بين الجسيمات المشتتة والساقطة عند زوايا أكبر من:

(أ) 45° (ب) 90° علماً بأن كثافة الذهب تساوي 19.32 جم/سم³

6. بافتراض أن النواة عبارة عن شحنة نقطية. احسب نصف قطر الذرة الميزونية لكل من ذرتي الالمنيوم والذهب. ومن ثم استنتج أيًا من المدارات الالكترونية ستقع داخل النواة (حسب الفرض السابق).

7. اشتق علاقة تبين عزم ثماني القطب الكهربائي Electric Octupole Moment.

8. إذا كانت Q لمستوى الاثارة الأول للثنجستون ($Z=74$) تساوي 1.83 - eb. احسب النسبة بين طولي المحورين الأكبر والأصغر. لهذه النواة. (يمكن إيجاد نصف القطر المتوسط للنواة من العلاقة (23.2)).