



كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الثالثة

المادة : فيزياء نووية 1

المحاضرة: الاولى / نظري /

{{ مكتبة A to Z }}

مكتبة A to Z Facebook Group :

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960

2026

5

خصائص النواة

مقدمة:

البحث عن الطبيعة الأساسية للمادة بدأ في تأملات الفلاسفة الإغريق الأوائل؛ على وجه الخصوص، كان ديموقريطس في القرن الرابع قبل الميلاد يعتقد أن كل نوع من المواد يمكن تقسيمه إلى أجزاء أصغر فأصغر، حتى نصل إلى الحد النهائي الذي لا يمكن بعده أي تقسيم. هذه الذرة، غير المرئية للعين المجردة، كانت بالنسبة لديموقريطس هي **الجسيم الأساسي المكوّن للمادة**.

وعلى مدار الـ 2400 سنة التالية، ظلّت هذه الفكرة مجرد تأمل فلسفي، إلى أن جاء باحثو أوائل القرن التاسع عشر وطبقوا **المنهج العلمي التجريبي** على هذا الموضوع، ومن خلال دراساتهم حصلوا على الأدلة التي رفعت فكرة الذرة إلى **مستوى النظرية العلمية الكاملة**.

واليوم، ومع ميلنا إلى التخصص وتقسيم العلوم إلى مجالات مستقلة، فإننا نُصنّف أولئك العلماء الأوائل مثل دالتون، أفوجادرو، فاراداي ضمن **علماء الكيمياء**. فبمجرد أن وضّح الكيميائيون أنواع الذرات والقواعد التي تحكم تركيبها في المواد، وتصنيفها بشكل منهجي مثل **الجدول الدوري لمندليف**، كان من الطبيعي أن تأتي الخطوة التالية بدراسة **الخصائص الأساسية للذرات الفردية للعناصر المختلفة**، وهو ما تُسميه اليوم **الفيزياء الذرية**.

وقد قادت هذه الدراسات إلى اكتشاف **بيكريل** عام 1896 للنشاط الإشعاعي لبعض أنواع الذرات، ثم قام **الزوجان كوري** في عام 1898 بتحديد المزيد من المواد المشعة.

ثم جاء دور **رذرفورد** الذي بدأ بدراسة هذه الإشعاعات وخصائصها؛ وبعد أن فهم طبيعتها، قام باستخدامها كـ **مجسات لفحص الذرات نفسها**. وخلال هذه العملية، اقترح في عام 1911 وجود **نواة الذرة**، وتم تأكيد ذلك من خلال التجارب الدقيقة التي أجراها **جيجر ومارسدن**، مما فتح الباب أمام فرع علمي جديد هو **الفيزياء النووية**، المكّرس لدراسة المادة على **أعمق مستوى ممكن**.

ومنذ عصر رذرفورد وحتى اليوم، استمرت الدراسات في خصائص النواة. وفي الأربعينات والخمسينات من القرن العشرين، تم اكتشاف وجود مستوى آخر من البنية، **أكثر أساسية من النواة نفسها**. وتُجرى اليوم دراسات الجسيمات التي تُكوّن هذه البنية ضمن مجال **فيزياء الجسيمات الأولية أو فيزياء الطاقة العالية**.

وهكذا، يمكن اعتبار **الفيزياء النووية** امتداداً لتطور **الكيمياء والفيزياء الذرية**، وفي الوقت نفسه تمهّد الطريق نحو **فيزياء الجسيمات**.

خصائص النواة:

المكونات:

تتكون النواة من بروتونات ونيوترونات (تتكون البروتونات والنيوترونات من الكواركات ولكننا سنتعامل معها هنا من دون النظر الى مكوناتها).

تُعبّر عن عدد البروتونات بـ Z و عن عدد النيوترونات بـ N . كل بروتون يملك شحنة مساوية لشحنة الالكترن ومعاكسة له بالإشارة e^+ ، بينما النيوترونات فهي عديمة الشحنة. وتكون الشحنة الكلية للنواة هي Ze^+ .

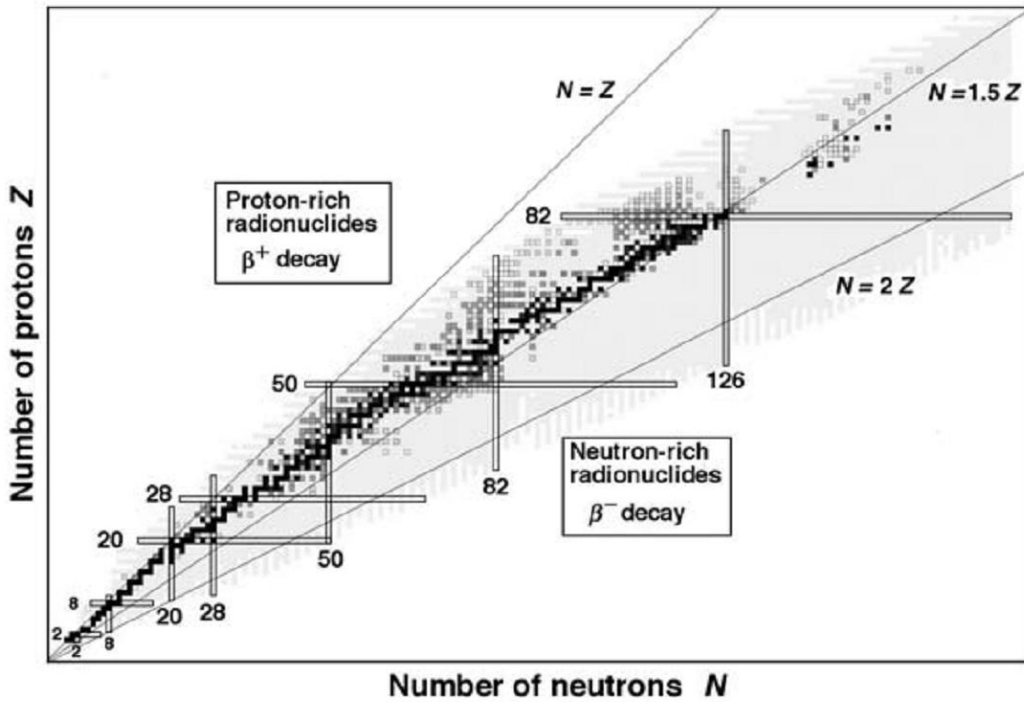
تُرمز للنواة بالشكل التالي: A_ZX حيث A هي العدد الكتلي $A=Z+N$.

كتلة النواة:

تُرمز لكتلة النواة بـ m_{nuc} وهي تُعطى بالعلاقة:

$$m_{nuc} = Zm_p + Nm_n - \frac{B}{c^2}$$

حيث أن B هي طاقة الارتباط الكلية اللازمة لفصل النيكليونات، و c هي سرعة الضوء. المقدار $\frac{B}{c^2}$ هو عادةً أقل من 1% من كتلة النواة. كما أن $m_n \approx m_p$ لذلك وبالتقريب يمكن كتابة: $m_{nuc} \approx (Z + N)m_p = Am_p$.



الشكل 1: توزيع النوى المستقرة (اللون الأسود الغامق) والنوى المشعة.

هناك نوى يمكن أن تتساوي فيما بينها بعدد البروتونات أو النيوترونات أو العدد الكتلي فنسبها بالنظائر. تُسمى النوى التي تمتلك عدد متساوي من البروتونات بالايوتوب (Isotopes)، مثال: $^{16}_8O$ ، $^{17}_8O$. و تُسمى النوى التي تمتلك عدد متساوي من النيوترونات بالايوتون (Isotones)، مثال: $^{14}_6C$ ، $^{14}_7N$. و تُسمى النوى التي تمتلك نفس العدد الكتلي بالايوبار (Isobars)، مثال: $^{14}_6C$ ، $^{14}_7N$.

النوى الموجودة في الطبيعة تمتلك عدد ذري $1 \leq Z \leq 92$ وعدد من النيوترونات $0 \leq N \leq 146$. من أجل النوى الخفيفة ($A \leq 40$) فإن Z و N تكون تقريباً متساوية، أما من أجل النوى الثقيلة فإن N تكون أكبر بقليل من Z ، وتكون $N \approx 1.5 Z$ في النوى الأثقل. هناك ميل في حالة النوى المستقرة أن يكون لديها عدد متساوي من البروتونات والنيوترونات ولا سيما في النوى الخفيفة.

جدول 1: عدد النوى المستقرة الموجودة في الطبيعة تبعاً لعدد النيوترونات والبروتونات.

عدد البروتونات	عدد النيوترونات	عدد النوى المستقرة
زوجي	زوجي	148
زوجي	فردى	51
فردى	زوجي	49
فردى	فردى	4

الوحدات والأبعاد

في الفيزياء النووية، نتعامل مع أطوال من مرتبة $10^{-15}m$ ، والتي تُعرف باسم فيمتومتر (fm). تُعرف هذه الوحدة بشكل غير رسمي باسم فيرمي ($Fermi$)، تكريماً لعالم الفيزياء النووية الإيطالي-الأمريكي الرائد إنريكو فيرمي. تتراوح أحجام النوى من حوالي 1 فيمتومتر (لنيوكلون واحد) إلى حوالي 7 فيمتومتر لأثقل النوى.

يمتد المقياس الزمني للظواهر النووية على نطاق واسع جداً. بعض النوى، مثل الهيليوم 5He أو البريليوم 5Be ، تتفكك في أزمنة من رتبة $10^{-20} s$. تحدث العديد من التفاعلات النووية في هذا النطاق الزمني، وهو تقريباً الزمن الذي تبقى فيه النوى المتفاعلة ضمن مدى تأثير القوة النووية المتبادلة.

تحدث التفككات الكهرومغناطيسية (γ) للنوى عادةً خلال فترات حياة من $10^{-9} s$ (نانو ثانية) إلى $10^{-12} s$ (بيكو ثانية)، لكن العديد من التفككات قد تحدث في فترات زمنية أقصر أو أطول بكثير. أما تفككات بيتا (β) وألفا (α)، فغالباً ما تحدث خلال فترات أطول قد تصل إلى دقائق أو ساعات، وأحياناً تمتد إلى آلاف أو حتى ملايين السنين.

يتم قياس الطاقات النووية بشكل مناسب بملايين الإلكترون-فولت (MeV)، حيث: $1 eV = 1.602 * 10^{-19} J$ وهي الطاقة التي تكتسبها شحنة إلكترونية واحدة عند تسريعها خلال فرق جهد مقداره 1 فولت.

يتم قياس الكتل النووية باستخدام وحدة الكتلة الذرية الموحدة u ، والمُعَرَّفة بحيث تكون كتلة ذرة الكربون-12 تساوي بالضبط $12u$. وبهذا، فإن كتل البروتونات والنيوترونات تساوي تقريباً $1u$.

في دراسة التفككات النووية والتفاعلات، غالباً ما نستخدم طاقات الكتلة بدلاً من الكتل نفسها. حيث $1 u = 931.502 \text{ MeV}$

أما تحويل الكتلة إلى طاقة، فيتم باستخدام العلاقة الأساسية في النسبية الخاصة:

$$E = mc^2$$

وبالتالي يمكننا العمل إما بالكتلة أو بالطاقة حسب الحاجة، وفي هذه الوحدات تكون:

$$c^2 = 931.502 \text{ MeV}/u$$

حجوم وأشكال النوى

أغلبية النوى لها شكل كروي بنصف قطر يساوي بعض الفيمتومتر. يزداد نصف القطر من 2 fm في النوى الخفيفة إلى 7 fm في النوى الثقيلة. ويُعطى نصف قطر النواة بشكل تقريبي بالصيغة التالية:

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

حيث A هو العدد الكتلي و $R_0 = 1.25 \text{ fm}$.

ويتم حساب حجوم النوى كمايلي:

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = V_0 A$$

حيث $V_0 = \frac{4}{3} \pi R_0^3$.

كثافة المادة النووية

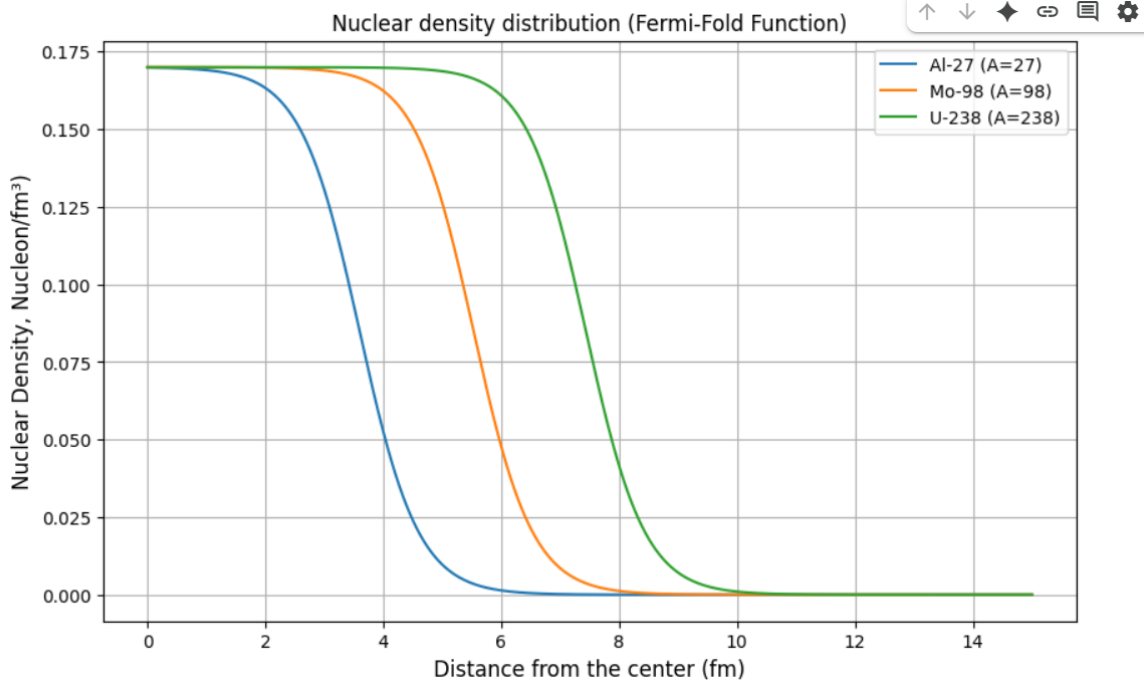
المقصود بكثافة المادة النووية هو توزيع الكتلة أي البروتونات والنترونات في النواة. تتميز النواة الذرية بكثافة هائلة تفوق أي مادة معروفة في حياتنا اليومية. لفهم كيفية توزيع هذه الكثافة، نبدأ بتصور النواة ككرة صغيرة جدًا تحتوي على البروتونات والنترونات.

معظم النوى المتوسطة والكبيرة (مثل نواة الذهب أو اليورانيوم)، نلاحظ أن الكثافة النووية تكون شبه ثابتة في المنطقة المركزية للنواة. هذا يعني أن عدد النكليونات (بروتونات ونيوترونات) لكل وحدة حجم يكاد يكون متساوياً في قلب النواة. لكن عند الاقتراب من السطح الخارجي للنواة، تبدأ الكثافة بالتناقص التدريجي دون وجود حد حاد يفصل النواة عن الفراغ المحيط بها.

يصف العلماء هذا التوزيع عادةً بما يسمى "دالة فيرمي"، التي تبدو في الرسم البياني كخط مستوي في الوسط مع انحدار سلس عند الأطراف. هناك خاصيتان رئيسيتان لهذا التوزيع:

(1) الكثافة المركزية القصوى (حوالي 0.17 نكليون لكل فيمتومتر مكعب).

(2) منطقة الانتقال السطحية التي تحدد مدى حدة أو ليونة حافة النواة.



الشكل 2 توزيع الكثافة النووية في ثلاث نوى الألمنيوم *Al* و المولبيدينيوم *Mo* و اليورانيوم *U*.

من الشكل نلاحظ أن الكتلة تتوزع بحيث يكون هناك منطقة مركزية تكون فيها كثافة الكتلة ثابتة وطبقة تتناقص فيها الكثافة بشكل سريع.

من المثير للاهتمام أن نوى العناصر الخفيفة جدًا (مثل الهيدروجين الثقيل) لا تتبع هذا النمط، حيث تكون أقل انتظامًا بسبب قلة عدد النكليونات فيها.

لدراسة هذا التوزيع عمليًا، يستخدم الفيزيائيون حزمًا من الإلكترونات عالية الطاقة. عندما تصطدم هذه الإلكترونات بالنواة، يتغير نمط تشتتها بناءً على كيفية توزيع الكثافة النووية، مما يسمح للعلماء برسم خريطة دقيقة لهذا التوزيع.

إن فهم توزيع الكثافة النووية ليس مجرد مسألة نظرية، بل له تطبيقات مهمة في تفسير ظواهر مثل الانشطار النووي، وفي فهم طبيعة الأجرام الفلكية الغريبة مثل النجوم النيوترونية، التي يمكن اعتبارها نوى ذرية عملاقة بحجم مدينة ولكنها تحافظ على خصائص الكثافة النووية.

بالمقارنة مع الذرة ككل، فإن النواة تشبه حبة رمل صغيرة في وسط ملعب كرة قدم كبير (حجم الذرة)، لكن هذه الحبة الصغيرة تحتوي على أكثر من 99.9% من كتلة الذرة كلها!

وتكون الكثافة النووية من مرتبة 10^{17} Kg/m^3 أي أنها أكبر بمقدار 14 مرة من كثافة السوائل و الأجسام الصلبة. ان كثافة الكتلة الضخمة الموجودة في النواة يعود الى أن كامل كتلة الذرة يقع تقريباً في النواة والتي هي أصغر بمقدار 10^{14} مرة من حجم الذرة وبالتالي فإن كثافة النواة أكبر بمقدار 10^{14} مرة من كثافة الذرة.

وتوزع الشحنة (توزع البروتونات) في النواة هو مشابه تماماً لتوزع الكتلة السابق. و يُعبر عن توزع الشحنة في النواة بدالة فيرمي-فولد:

$$\rho(r) = \frac{\rho_0}{1 + e^{(r-a)/b}}$$

حيث ρ_0 هي كثافة الشحنة في المنطقة المركزية. و a يمثل نصف القطر الذي تنخفض عنده الكثافة الى النصف. و b هو ثابت يمثل سماكة الطبقة السطحية.

$$a = 1.07A^{1/3} \text{ fm}, \quad b = 0.55 \text{ fm}$$

كتلة النواة

لا يُعبر عن كتلة النواة بوحدة Kg لأنها كبيرة جداً لذلك تم تعريف وحدة قياس خاصة بكتلة النواة على السلم الميكروسكوبي. يُرمز لوحدة كتلة النواة ب mu (mass unit) أو اختصاراً ب u .

أُخذت ذرة الكربون كمرجع حيث تم اعتبار أن كتلة ذرة الكربون-12 تُعادل $12 u$. وباستخدام عدد أفوغادرو N_A الذي يمثل عدد الذرات الموجودة في 12 gr من الكربون-12 و يساوي $6.022 * 10^{23}$. فأن:

$$12 \text{ gr} = \text{كتلة عدد أفوغادرو من الكربون-12}$$

$$12 \text{ gr} = N_A * \text{كتلة ذرة الكربون}$$

$$12 \text{ gr} = N_A * 12 u$$

$$1 u = \frac{1}{N_A} (\text{gr})$$

$$1 u = \frac{1}{6.022 * 10^{23}} = 1.66042 * 10^{-24} \text{ gr}$$

وتحويل الكتلة الى طاقة باستخدام علاقة انيشتاين $E = mc^2$ نجد:

$$1uc^2 = 1.66 * 10^{-24} * 10^{-3} * (3 * 10^8)^2 = 1.49 * 10^{-10} \text{ J}$$

$$1 \text{ MeV} = 1.6 * 10^{-13} \text{ J}$$
 وبما أن:

$$1uc^2 = 931.48 \text{ MeV} \quad \text{نجد}$$

طاقة الارتباط B

طاقة الارتباط B للنكليونات هي الطاقة الكلية اللازمة لفصل العدد A من النكليونات. من خلال المناقشة التالية سنجد أن طاقة الارتباط B تعتمد على Z و N و A.

من خلال علاقة كتلة النواة:

$$m_{nuc} = Zm_p + Nm_n - \frac{B}{c^2}$$

نجد أن:

$$B = (Zm_p + Nm_n - m_{nuc})c^2$$

باستخدام مفهوم الكتلة الذرية نجد: $m_{atom} = m_{nuc} + Zm_e$ حيث أن كتلة الذرة هي كتلة النواة m_{nuc} مضافاً إليها كتلة الالكترونات Zm_e ، ومنه نجد: $m_{nuc} = m_{atom} - Zm_e$

وبتعويض m_{nuc} في علاقة B نجد:

$$B = ((Zm_p + Nm_n - (m_{atom} - Zm_e))c^2$$

$$B = (Zm_p + Zm_e + Nm_n - m_{atom})c^2$$

حيث: $Z(m_p + m_e) = Zm_H$ ، كتلة ذرة الهيدروجين.

وبالتالي يُمكن كتابة B كمايلي:

$$B = (Zm_H + Nm_n - m_{atom})c^2$$

مثال: باستخدام الكتل الذرية، احسب طاقة ارتباط النكليونات في ذرة الكلور ${}_{17}^{35}Cl$. علماً أن:

$$m_{atom}({}_{17}^{35}Cl) = 34.969 u, \quad m_n = 1.0087 u, \quad m_H = 1.0078 u$$

$$B = (17m_H + 18m_n - m_{atom}({}_{17}^{38}Cl))c^2$$

$$B = (35.289 u - 34.969)u c^2 = 0.329 uc^2$$

$$B = 0.329 uc^2 * 931.5 = 298 MeV$$

نلاحظ الفرق الصغير بين كتلة مكونات النواة وكتلة الذرة لذلك لابد من صرف طاقة كبيرة لفصل مكونات النواة عن الذرة.

ويمثل المقدار $\frac{B}{A}$ طاقة الارتباط لكل نكليون في النواة A.

يمكن أيضاً حساب الطاقة اللازمة لفصل نترين واحد من النواة وهذا يُسمى بطاقة فصل النترين $S_n(Z, N)$. و تُعرف طاقة الارتباط على الشكل:

$$B(Z, N) = S_n(Z, N) + B(Z, N - 1)$$

مثال: ماهي طاقة الارتباط لذرة الأوكسجين $^{17}_8O$ اذا علمنا أن طاقة الارتباط لذرة الأوكسجين $^{16}_8O$ تساوي 127.6 MeV و طاقة الفصل للنترين من الذرة $^{17}_8O$ تساوي 4.2 MeV .

$$B(^{17}_8O) = S_n(^{17}_8O) + B(^{16}_8O)$$

$$B(^{17}_8O) = 4.2 + 127.6 = 131.8 \text{ MeV}$$

تمارين:

1- أحسب نصف قطر وحجوم النوى التالية: ^{238}U و ^{12}C و 4He و ^{16}O

2- أحسب طاقة ارتباط النيكلين في النوى التالية: 2H علماً أن $m_p = 1.007276 \text{ u}$, $m_n = 1.008665 \text{ u}$, $m_{^2H} = 2.014102 \text{ u}$.

احسب طاقة ارتباط النيكلين في نواة الحديد ^{56}Fe علماً أن $m_{^{56}Fe} = 55.934938 \text{ u}$

احسب طاقة ارتباط النيكلين في نواة الأوكسجين ^{16}O علماً أن $m_{^{16}O} = 15.994915 \text{ u}$



مكتبة

A to Z

phon

تواصي المحاضرات

Group

