كلية العلوم

القسم : **الفيزياء**

السنة : **الثالثة**

المادة : نووية١

المحاضرة : الاولى/نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

2025

5

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

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 الـ2400 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 الذرّة 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 تَركيبها 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 نُسميه 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**، المكرّس 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** و**الفيزياء الذرية**، وفي الوقت نفسه تمهّد الطريق نحو **فيزياء الجسيمات**.

خصائص النواة:

المكونات:

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

نُعبر عن عدد البروتونات ب Z و عن عدد النترونات ب N. كل بروتون يملك شحنة مساوية لشحنة الالكترون ومعاكسة له بالإشارة e^+، بينما النترونات فهي عديمة الشحنة. وتكون الشحنة الكلية للنواة هي Ze^+.

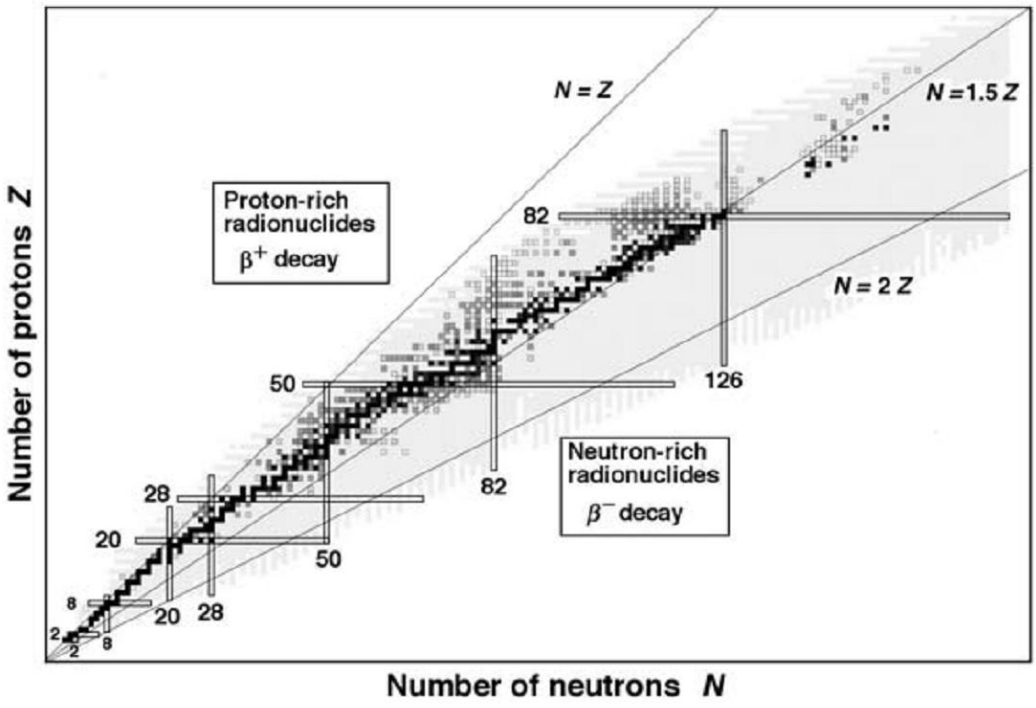
نُرمز للنواة بالشكل التالي: ${}^A_Z X$ حيث A هي العدد الكتلي A=Z+N.

كتلة النواة:

نُرمز لكتلة النواة ب 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: توزع النوى المستقرة (اللون الأسود الغامق) والنوى المشعة.

هناك نوى يمكن أن تتساوي فيما بينها بعدد البروتونات أو النترونات أو العدد الكتلي فنسيمها بالنظائر. نُسمي النوى التي تمتلك عدد متساوي من البروتونات بالايزوتوب (Isotopes)، مثال: $^{16}_{8}O$، $^{17}_{8}O$. و نُسمي النوى التي تمتلك عدد متساوي من النترونات بالايزوتون (Isotones)، مثال: $^{14}_{7}N$، $^{13}_{6}C$. و نُسمي النوى التي تمتلك نفس العدد الكتلي بالايزوبار (Isobars)، مثال: $^{14}_{7}N$، $^{14}_{6}C$.

النوى الموجودة في الطبيعة تمتلك عدد ذري $1 \leq Z \leq 92$ وعدد من النترونات $0 \leq N \leq 146$.
من أجل النوى الخفيفة ($A \leq 40$) فأن N و Z تكون تقريباً متساوية، أما من أجل النوى الثقيلة فأن 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 والنترونات ولا سيما في النوى الخفيفة.

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

عدد النوى المستقرة	عدد النترونات	عدد البروتونات
148	زوجي	زوجي
51	فردي	زوجي
49	زوجي	فردي
4	فردي	فردي

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 ^{5}He أو البريليوم ^{5}Be ، 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) الى $10^{-12}s$ (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، والمُعرَّفة 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 $1\,u = 931.502\,MeV$

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:

$$c^2 = 931.502\ MeV/u$$

حجوم وأشكال النوى

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

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

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

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

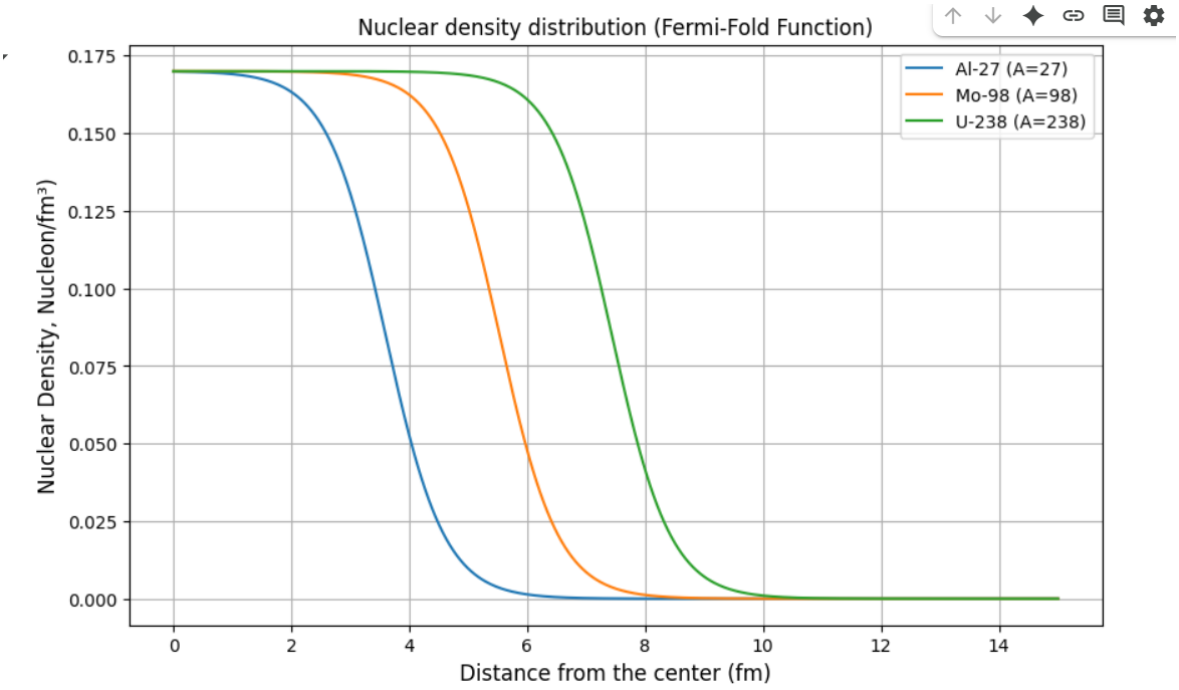
المقصود بكثافة المادة النووية هو توزع الكتلة أي البروتونات والنترونات في النواة. تتميز النواة الذرية بكثافة هائلة تفوق أي مادة معروفة في حياتنا اليومية. لفهم كيفية توزع هذه الكثافة، نبدأ بتصور النواة ككرة صغيرة جدًا تحتوي على البروتونات والنترونات.

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 ونترونات) 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 مستوٍ 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 توزع الكثافة النووية في ثلاث نوى الألمنيوم *Al* و المولبيدنيوم *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 توزع الكثافة النووية، مما يسمح للعلماء برسم خريطة دقيقة لهذا التوزيع.

إن فهم توزع 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 فأن 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. وa يمثل نصف القطر الذي تنخفض عنده الكثافة الى النصف. و b هو ثابت يمثل سماكة الطبقة السطحية.

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

كتلة النواة

لا يُعبر عن كتلة النواة بواحدة *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:

كتلة عدد أفوغادرو من الكربون-12 = *12 gr*

كتلة ذرة الكربون * N_A = *12 gr*

12 gr = N_A * 12 u

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

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

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

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

وبما أن: $1\ MeV = 1.6 * 10^{-13} J$

$$1uc^2 = 931.48\ MeV$$ نجد

طاقة الارتباط B

طاقة الارتباط *B* للنيكليونات هي الطاقة الكلية اللازمة لفصل العدد *A* من النيكليونات. 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:

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

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

وبتعويض m_{nuc} في علاقة B نجد:

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

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

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

وبالتالي يُمكن كتابة B كمايلي:

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

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

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

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

$$\mathrm{B} = (35.289\ u - 34.969)c^2 = 0.329\ uc^2$$

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

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 نيكليون في النواة A.

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

$$\mathrm{B(Z,N)} = S_n(Z,N) + B(Z,N-1)$$

مثال: ماهي طاقة الارتباط لذرة الأوكسجين $^{17}_{8}O$ اذا علمنا أن طاقة الارتباط لذرة الأوكسجين $^{16}_{8}O$ تساوي $127.6\ MeV$ و طاقة الفصل للنترون من الذرة $^{17}_{8}O$ تساوي $4.2\ MeV$.

$$\mathrm{B}(^{17}_{8}O) = S_n(^{17}_{8}O) + B(^{16}_{8}O)$$

$$B(^{17}_{8}O\ ) = 4.2 + 127.6 = 131.8\ MeV$$

تمارين:

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

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

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

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

مكتبة A to Z