الفصل الثاني عشر
بنية النواة والخصائص النووية

Nuclear Structure & Properties

أهمية دراسة بنية النواة وخصائصها

- يظهر من خلال استعراض منجزات الفيزياء وإمكاناتها المعاصرة أهمية نواتج التفكك الإشعاعي في الطب النووي.
- إذ تؤدِّي النوى التي تتصف **بالنشاط الإشعاعي** دوراً مهماً في:
  - **الدراسات الفيزيولوجية ،**
  - **والكشف عن الإصابات بالأورام الخبيثة،**
  - **ومدى انتشار هذه الأورام،**
  - إمكانية **معالجة تلك الأورام** بها.

أهمية دراسة بنية النواة وخصائصها

- يجدر بالذكر أن:
- أشعة غاما تؤدِّي دوراً رئيسياً في هذه المهمة
- (وأحياناً أشعة بيتا)،
- في حين يمكن للإشعاع الناجم عن فناء البوزترونات
- أن يكشف عن وظائف الأعضاء وأهمها الدماغ.

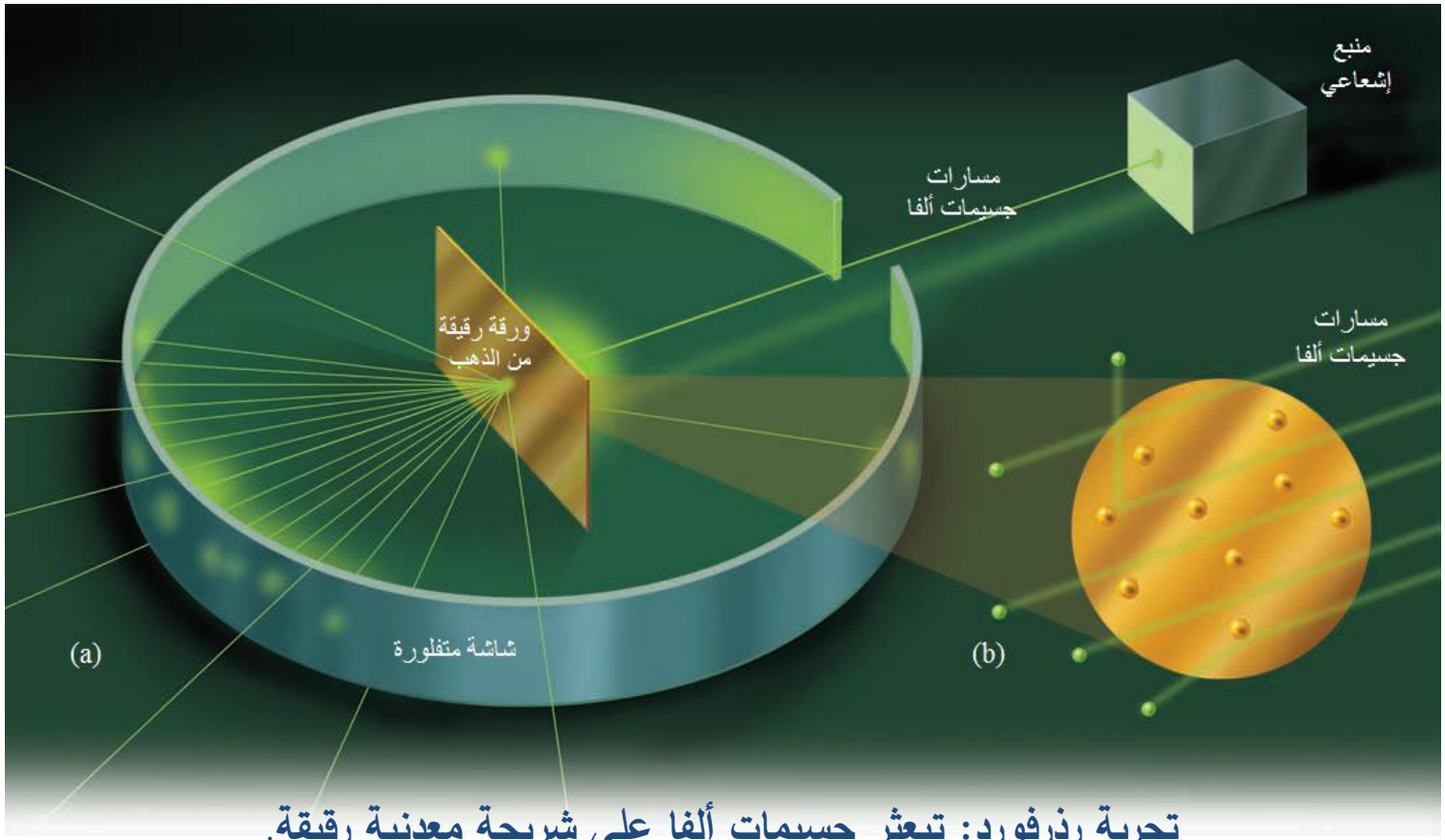
- لفهم آليات إصدار هذه الإشعاعات لا بد من:

  – **الإشارة إلى أنواع القوى النووية**

  – **والمفاهيم الجديدة** التي أدخلت على كل من الفيزياء الذرية وفيزياء الجسيمات (وقد وردت في الفصل الأول).

- كما أنه لا بد من دراسة **الخصائص المغنطيسية للنواة** ليتسنى لنا التعرف على مكونات الجسم البشري التي يمكن الاعتماد عليها في الحصول على صور تشريحية أو وظيفية للجسم بتصوير التجاوب المغنطيسي النووي.

تجربة رذرفورد ونصف قطر النواة



تجربة رذرفورد: تبعثر جسيمات ألفا على شريحة معدنية رقيقة.

نصف قطر النواة المعدنية يساوي تقريباً $D = 3.2 \times 10^{-14}\, m$

بنية النواة

- تتكون النواة الذرّيّة من النكليونات
  - وتضم البروتونات والنترونات
  - إن بعض هذه النوى مستقر
  - والآخر غير مستقر تنشأ عنه ظاهرة النشاط الإشعاعي radioactivity.

بنية النواة

- وتتميز أي نواة :
  - **بعدد البروتونات** فيها الذي
  - يساوي **عدد الإلكترونات** في الغمامة الإلكترونية لذرّتها (العدد الذرّي Z)،
  - **وبعددها الكتلي** A أو بالعدد الكلي لنكليوناتها،
  - **وبعدد النترونات** الممكنة $N = A - Z$.
- يجدر بالذكر بأن العدد الكتلي هو عدد صحيح ويجب تمييزه من كتلة النواة التي لا تساويه بالضرورة.

بنية النواة وواحدة الكتل الذرية

- في حالة الهدروجين مثلا $A = 1$
- ولكن $M = 1.00759\, amu$
- حيث amu ترمز إلى
- واحدة الكتل الذرية *Atomic mass unit*

$$1amu = 1/N_{avo} = (1/6.02 \cdot 10^{23})g$$

$$= 1.660240 \cdot 10^{-24} g = 931.5 MeV$$

طاقة ارتباط النواة

- إذا جعلنا $m(A,Z)$ ترمز لكتلة النواة
- و $M(A,Z)$ لكتلة الذرة
- وبإهمال طاقة ارتباط الإلكترونات يكون:
-

$$M(Z,A) = m(A,Z) + Zm_e$$

طاقة ارتباط النواة

- لدى الحديث عن نوى مختلفة:
- نطلق اسم النكليد Nuclide على نواة عدد بروتوناتها Z، وعدد نتروناتها N محدَّدَيْن، ويمثّل النكليد عادة بالشكل:

$$^{A}_{Z}X$$

مثل $^{235}_{92}U$:

حيث $A=235$ نكليوناً و $Z=92$ بروتوناً و$N=143$ نتروناً.

طاقة ارتباط النواة

عندما يجتمع عدد من النكليونات لتشكيل نواة
تنخفض كتلتها طاقتها الكلية بمقدار

$$\Delta M = ZM_p + NM_n - M_{nucleus}$$

وتنخفض طاقتها ΔE بمقدار يتناسب مع الانخفاض في مجموع كتل مكوناتها،
تعطى طاقة الارتباط الكلية للنواة، وفق العلاقة:

$$E_B = \Delta E = \Delta M\, c^2$$

طاقة ارتباط النواة

مثال: لحساب طاقة ارتباط ذرة الهليوم $M_{He} = 4.001493\ amu$

$$2M_p + 2M_n = 1.007276 \times 2 + 1.008665 \times 2$$

$$= 4.031882\ amu$$

$$\Delta M = 4.031882 - 4.001493$$

$$= 0.030389\ amu$$

باستخدام علاقة آينشتاين $E = mc^2$ نحصل على

$$E_B = \Delta E = 0.030389\ amu \times 931.5\ MeV / amu$$

$$= 28.306\ MeV$$

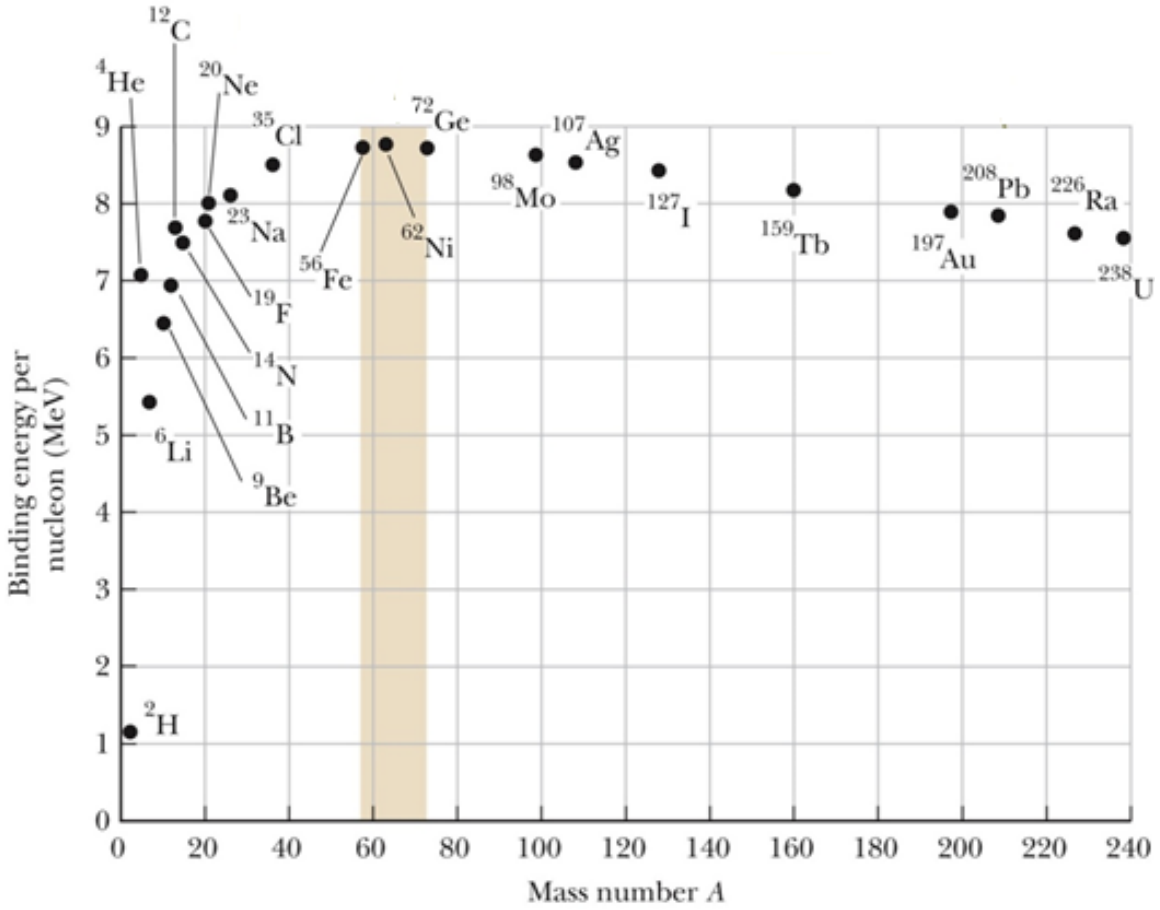
طاقة ارتباط النكليون الواحد

من أهم الخصائص المميزة للنواة **القيمة المتوسطة لارتباط النكليون**، أي النسبة بين **طاقة ارتباط النواة** والعدد الكتلي، وهي القيمة التي تحدد استقرارية النواة.

العنصر	$^{2}_{1}H$	$^{3}_{1}H$	$^{3}_{2}He$	$^{4}_{2}He$	$^{238}_{92}U$
طاقة ارتباط النكليون (MeV)	1.09	2.8	2.5	7	7.5

طاقة ارتباط النكليون الواحد في بعض العناصر

طاقة ارتباط االنكليون الواحد

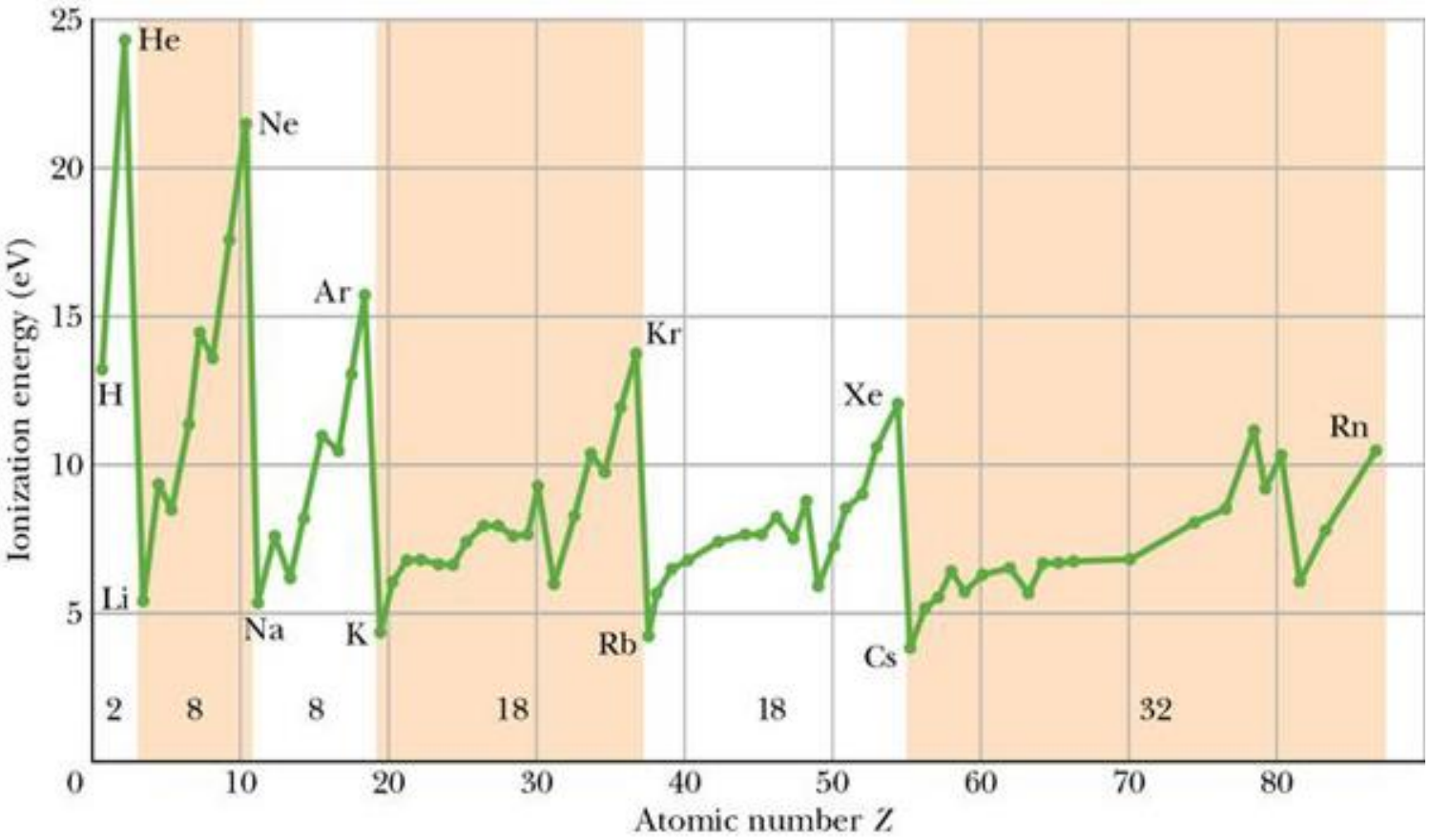


طاقة ارتباط النكليون الواحد بدلالة العدد الكتلي. يدل الشريط الملون على منطقة أكبر قيمة لطاقة ارتباط النكليون الواحد، والنوى الواقعة إلى يمين الرصاص 208غير مستقرة

- يتم شرح الشكل بأنه يمثل العلاقة بين طاقة ارتباط النكليون والعدد الكتلي A (يتم التأكيد على أن التابعية للعدد الكتلي **وليس للعدد الذري** كما في حالة طاقة ارتباط الإلكترون في الفصل الثاني).
- يلاحظ من الشكل أن **طاقة ارتباط النكليون EB/A** تزداد بسرعة مع تزايد العدد الكتلي Aحتى تبلغ قيمة قصوى وقدرها 8.70MeV وذلك عندA=60، وتهبط بعدها ببطء إلى أن تصل إلى القيمة 7.5MeV عند A=240.
-

- يتم لفت انتباه الطالب هنا إلى مرور الخط البياني في أوله بعدة نهايات عظمى عند أعداد كتلية من مضاعفات العدد 4 (توافق نوى لذرات تتوافر في الجسم البشري وهي الكربون 12 و الأكسجين 16 والكالسيوم 40 الذي لا يظهر على الشكل) تهبط بعدها طاقة ارتباط النكليون الواحد .
- يتبين في نهاية هذا الفصل لدى دراسة الخصائص المغنطيسية للنوى، أن النوى التي تتميز بهذه الأعداد لا تستجيب لطريقة التصوير التي تدعى الرنين المغنطيسي التي سندرسها في الفصل الثاني والعشرين. كما سنرى أن نوى أخرى كالصوديوم 23 والفسفور 31 والتي تتميز بوظائف حيوية في الجسم تستجيب للرنين المغنطيسي بالإضافة إلى نوى الهدروجين.

طاقة ارتباط الإلكترونات في الذرة بدلالة العدد الذري



طاقة تأين العناصر بدلالة العدد الذري.

1 الإشارة إلى أن طاقة ارتباط الإلكترون (أو تأين الذرة) تكون بدلالة العدد الذري وليس بدلالة العدد الكتلي. وأن طاقة ارتباط الإلكترون تكون من مرتبة عشرات الإلكترون فولط بينما مرتبة طاقة النكليون من مرتبة المليون إلكترون فولط.

2- يشار أيضاً أننا مررنا في الفصل الثاني لدى دراسة بنية الذرة بمثل هذا المنحني.

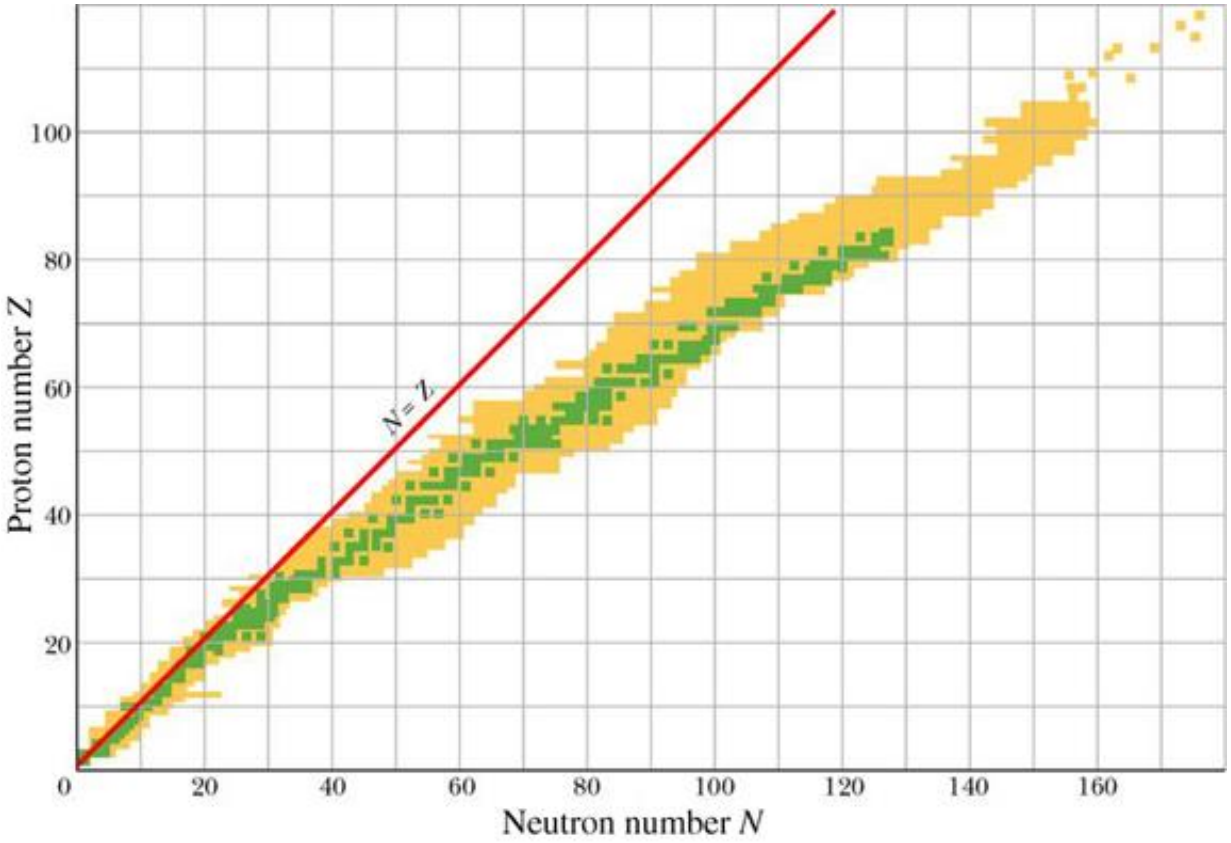
3- الإشارة إلى أن النهايات العظمى تحدث عند الغازات النادرة حيث تكون الطبقة الخارجية للإلكترونات مكتملة

4- وأن النهايات العظمى في حالة طاقة ارتباط النكليون تقع عند الأعداد السحرية (مضاعفات العدد 4)

النظائر والأنواع النووية

- النظائر *isotopes* نكليدات لها العدد الذري نفسه وتختلف بعددها الكتلي.
- الإيزوتونات *isotones* تحوي العدد نفسه من النترونات.
- الإيزوبارات *isobars*، تحوي العدد نفسه من النكليونات.
- الإيزوميرات النووية *isomers* أو المماكبات نوى تحوي العدد نفسه من النترونات والبروتونات ولكنها تختلف فيما بينها بحالة الإثارة،

النظائر والأنواع النووية



مخطط النترونات – البروتونات.

النشاط الإشعاعي

- تفكك النظائر في حال وجود فائض في عدد النترونات

$$^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + \beta^{-} + \bar{\nu}$$

$$^{99}Mo \rightarrow {}^{99m}Tc + \beta^{-} + \bar{\nu}$$

$$n \rightarrow p + \beta^{-} + \bar{\nu}$$

1- نعالج في السلايد مثالين يتضمن الأول نواة خفيفة والآخر نواة ثقيلة نوعاً ما وفي المثالين يتم تحول أحد النترونات إلى بروتون يستقر في النواة ليعطي العنصر الذي يليه في الجدول الدوري ويصدر جسيم بيتا نادرا ما يستخدم في الطب النووي لقصر مساره في الجسم ، بالإضافة إلى نترينو مضاد (ينتمي إلى المادة المضادة). وهو تفاعل مبرر لأن كتلة النترون أكبر من كتلة البروتون.

2- يدل m في المعادلة الثانية على الحرف الأول من كلمة *metastable* التي تعني غير مستقر، أي إننا نحصل على مماكب التكنسيوم غير المستقر الذي يتفكك لاحقاً بإصدار فوتون غاما يمكن استخدامه في استكشاف الجسم البشري في الطب النووي.

النشاط الإشعاعي

- **وجود فائض في عدد البروتونات**
- يمكن أن تصدر النواة إلكتروناً موجباً (بوزتروناً)
- مثال:

$$^{11}_{6}C \rightarrow {}^{11}_{5}B + \beta^{+} + \nu$$

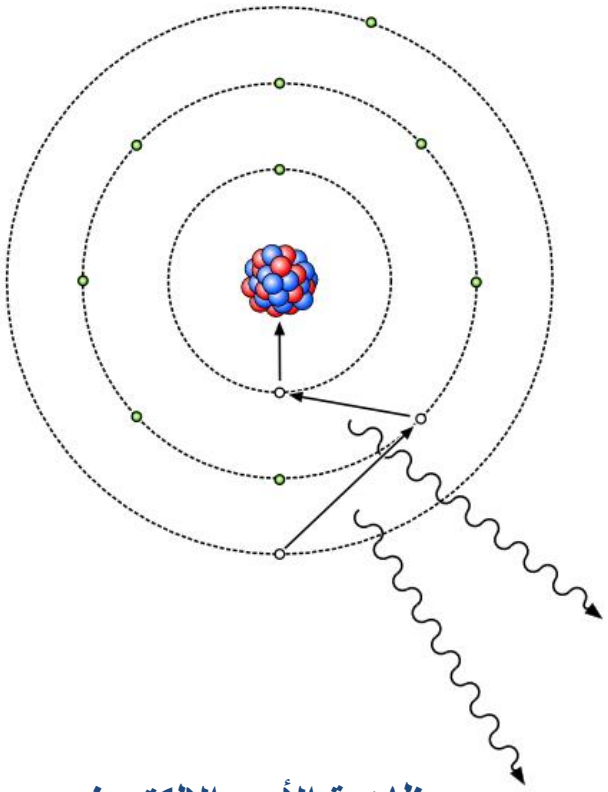
$$p + energy \rightarrow n + \beta^{+} + \nu$$

1- يتحول أحد البروتونات في هذا التحول إلى نترون يستقر في النواة ليعطي نواة العنصر الذي يسبقه في الجدول الدوري بالإضافة إلى بوزترون وهو إلكترون موجب ونترينو.

ولما كانت كتلة البروتون أصغر من كتلة النترون فلا يمكن تبرير التحول إلا بتحول الطاقة الداخلية للنواة إلى كتلة (علاقة التكافؤ لآينشتاين بين الكتلة والطاقة).

2-يتفانى هذا البوزترون، الذي ينتمي إلى المادة المضادة (التي مرت معنا في الفصل الأول: مقدمة في الفيزياء الحديثة) ، في نهاية المطاف مع أحد إلكترونات الوسط ليعطي فوتونين غاماويين ينطلقان في اتجاهين متعاكسين، ويمكن الاعتماد عليهما في إنارة الجسم البشري والحصول على صور وظيفية له من خلال التصوير المقطعي البوزتروني (الثنائي الفوتون) في الطب النووي.

النشاط الإشعاعي



ظاهرة الأسر الإلكتروني

- **وجود فائض في عدد البروتونات**

يمكن أن تحدث **ظاهرة الأسر الإلكتروني** يعقبها **إصدار أشعة الفلورة السينية** التي تنجم عن إعادة ترتيب الغمامة الإلكترونية

$$^{131}_{55}Cs + e^{-} \rightarrow {}^{131}_{54}Xe$$

- **1- الفلورة السينية**
- فلورة الأشعة السينية X-ray fluorescence (XRF) إصدار للأشعة السينية المميزة الثانوية (أو الفلورة) من مادة تمت إثارتها بقصفها بأشعة سينية أو غاماوية عالية الطاقة، وهي تقابل انتقالات تالية بين المداريات الإلكترونية عندما يشغر مكان في العميقة منها. غير أن الفلورة هنا نِشأت نتيجة لأسر النواة لأحد الإلكترونات.
- 2- يمكن الاستفادة من أشعة الفلورة في نوعي التصوير في الطب النووي: التصوير الومضاني والتصوير المقطعي الإصداري الأحادي الفوتون.

النشاط الإشعاعي

- وعندما يكون العدد الكتلي كبيراً، فإن النواة تصدر جسيم ألفا الذي يمثل نواة الهليوم المكونة من بروتونين ونترونين.
- تحول الراديوم إلى رادون الذي يترافق مع انخفاض العدد الكتلي بمقدار4 والعدد الذري بمقدار2:

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}Rn + \alpha$$

- يجدر بالذكر أن مثل هذه الذرات الثقيلة لا يستخدم في استكشاف الجسم البشري بسبب الآثار التخريبية لأشعة ألفا والقصر الشديد لمداها في الجسم البشري.

النشاط الإشعاعي

- **المماكبات isomers**
- نظيران يتساوى فيهما عدد البروتونات والنترونات، غير أن نوى أحد النظيرين تنطوي على فائض في طاقتها الداخلية، أي إنها مثارة،

$$^{99m}Tc \rightarrow ^{99}Tc + \gamma$$

- يمثل فوتون غاما العنصر الأساسي في **التصوير الومضاني والتصوير المقطعي الإصداري الغاماوي**،
- وإما أن ينتقل فائض الطاقة إلى السحابة الإلكترونية ليقذف بأحد إلكتروناتها خارج الذرة، ويطلق عليه اسم " **إلكترون التحول الداخلي**"، ثم تعيد الغمامة الإلكترونية ترتيبها لتصدر **فوتونات فلورة سينية**.

الخصائص المغنطيسية لمكونات النواة

- العزم المغنطيسي لمكونات النواة
- المغنطون النووي $\mu_N = \frac{e\hbar}{2m_p}$
- العزم المغنطيسي للبروتون $\mu_p = 2.79\mu_N$
- العزم المغنطيسي للنترون $\mu_n = -1.9\mu_N$
- العزم المغنطيسي للإلكترون (مغنطون بور)

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} = 9.274 \times 10^{-24}\ J/T$$

1-يعود الطالب بنفسه للكتاب لقراءة كل من الاندفاع الزاوي المداري للنكليون وسبين النكليون والاندفاع الزاوي الكلي للنكليون والاندفاع الزاوي الكلي للنواة

2- يفضل إجراء مقارنة بين علاقتي المغنطون النووي ومغنطون بور، والإشارة إلى أن العزم المغنطيسي للإلكترون أكبر بنحو 2000 مرة من المغنطون النووي . كما يفضل الإشارة إلى قيمتي العزمين المغنطيسيين لكل من البروتون والنترون بوحدة المغنطون النووي.

3- الإشارة إلى أننا نعتمد في الحصول على الصور التشريحية بالتجاوب (الرنين) المغنطيسي النووي بالاعتماد على نوى الهدروجين ، وفي الحصول على صور وظيفية يتم الاعتماد على الصوديوم 23 أو الفسفور 31 ويمكن الرجوع إلى الكتاب لمعرفة سبينيهما النوويين وعزميهما المغنطيسيين ولو أنهما غير مطلوبين.