

# الفيزياء في القىبريز

Hard\_equation

## التحولات النووية

Transformations nucléaires

BAC Physique



# التحولات النووية

1

## Transformations Nucléaires

### النشاط الإشعاعي : Radioactivité :

تم اكتشاف ظاهرة النشاط الإشعاعي صدفة من طرف الفيزيائي الفرنسي هنري بيكراں Henry Becquerel سنة 1896 حيث لاحظ أن أملاح الأورانيوم الموضوعة داخل درج مغلق تترك أثراً على لوحات فوتوفغرافية موجودة إلى جانب هذه الأملاح كما لو تعرضت لضوء الشمس، فاستنتج من ذلك أن هذه الأملاح تصدر تلقائياً إشعاعاً غير مرئي. و تواصلت دراسة النشاط الإشعاعي على يد العالمين بيير و ماري كوري ( Pierre et Marie Curie ) باكتشاف عنصرين مشعين هما الراديوم و البولونيوم. وقد توجّت نتائج أبحاثهم بالحصول على جائزة نوبل (Nobel) سنة 1903.

النشاط الإشعاعي هو ظاهرة نووية تمس أنوية الذرات حيث أن النواة المشعة (النواة الأم) تتفكك تلقائياً لتعطي نواة جديدة (النواة البنت) مرفوقة باصدار جسيمة و اشعاع كهرومغناطيسي.

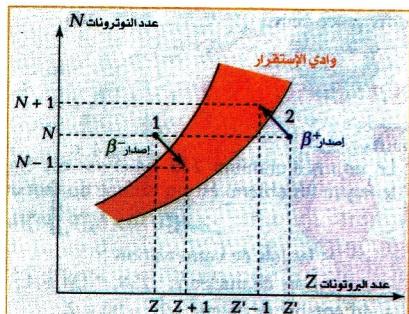
و تنقسم الجسيمات الصادرة عن النواة المشعة حسب أنواع التفككـات الحادثة التالية :

تصدر خلاله جسيمة $\alpha$ و هي عبارة على نواة الهيليوم ${}^4_2He$ . يتم طرد هذه الجسيمات من النواة بسرعة كبيرة ( $20000 \text{ km.s}^{-1}$ )، فتخترق المادة بانتزاع الإلكترونات منها، فهي جسيمات مُؤينة تحمل شحنة كهربائية موجبة.	$\alpha$ تفكك من النوع
تصدر خلاله إلكترون ${}^0_1e$ . الجسيمات ${}^- \beta$ هي إلكترونات يتم طردها من النواة، شحنتها سالبة.	$\beta^-$ تفكك من النوع
تصدر خلاله بوزيتون (positon) ${}^0_1e$ . الجسيمات ${}^+ \beta$ هي بوزيتونات يتم طردها من النواة، شحنتها موجبة.	$\beta^+$ تفكك من النوع
تصدر خلاله إشعاع كهرومغناطيسي $\gamma$ ، هو من نفس طبيعة الضوء و طول موجته قصير جداً. و يعتبر الإشعاع $\gamma$ نافذاً و خطيراً على الإنسان يجب تجنبه و الحماية منه.	$\gamma$ تفكك من النوع

مجالات استقرار و عدم استقرار الأنوية : مخطط  $(Z,N)$  Segré  
النواة المشعة (النواة الأم) هي نواة غير مستقرة يمكنها أن تتفكك تلقائياً لتعطي نواة أخرى (النواة البنت) مع إصدار دقيقة  $\alpha$  أو  $\beta$  و إشعاع  $\gamma$  على العموم.  
يحتوي المخطط  $(Z,N)$  على مجموعة الأنوية المعروفة و قد تم تمثيل كل نواة على هذا المخطط ثنائية  $(Z,N)$ .

# الأنوية المستقرة : Noyaux stables :

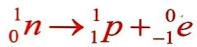
- من أجل  $Z \leq 20$  : يكون عدد البروتونات و عدد النوترتونات متقابلين في الأنوية المستقرة، و تكون هذه الأنوية موجودة بجوار المستقيم  $N = Z$  كما هو الحال مثلاً بالنسبة لأنوية  ${}_{10}^{20}Ne, {}_{8}^{16}O, {}_{6}^{12}C, {}_{2}^{4}He$ .
- من أجل  $Z > 20$  : يكون عدد النوترتونات أكبر من عدد البروتونات. تتوارد الأنوية المستقرة فوق المستقيم  $N = Z$  ، كما هو الحال مثلاً بالنسبة لنواة  ${}_{26}^{56}Fe$  يسمى المجال الذي يحتوي على الأنوية المستقرة "وادي الاستقرار" (Zone de stabilité).



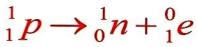
## الأنوية غير المستقرة : Noyaux instables :

كل نواة عددها الشحني أكبر من 82 هي نواة غير مستقرة. توجد ثلاثة حالات ممكنة :

- النواة الأم موجودة فوق مجال الاستقرار، فهي تمتلك بذلك زيادة من النوترتونات. يتحول النوترتون إلى بروتون مع إصدار الكترون : النواة الأم مشعة تصدر جسيمة  $\beta^-$ .



- النواة الأم موجودة تحت مجال الاستقرار، فهي تمتلك بذلك زيادة من البروتونات. يتحول البروتون إلى نوترتون مع إصدار بوزيتون : النواة الأم مشعة تصدر جسيمة  $\beta^+$ .



- النواة الأم تحتوي على عدد كبير من النوكليونات (الأنوية الثقيلة حيث  $A > 200$ ). تتفك النواة الأم تلقائياً مع إصدار جسيمة  $\alpha$  (نواة هيليوم).

## معادلات التفاعلات النووية :

يمكن نمذجة التفاعل النووي بمعادلة تخضع إلى قانوني انحفاظ العدد الشحني و عدد النوكليونات. يعرف هذان القانونان بقانوني صودي.

${}_{92}^{238}U \rightarrow {}_{90}^{234}Th + {}_{2}^{4}He$ مثال: ${}_{Z}^AX \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_{2}^{4}He$	$\alpha$ الإصدار
${}_{27}^{60}Co \rightarrow {}_{28}^{60}Ni + {}_{-1}^0e$ مثال: ${}_{Z}^AX \rightarrow {}_{Z+1}^{A}Y + {}_{-1}^0e$	$\beta^-$ الإصدار
${}_{81}^{201}Tl \rightarrow {}_{80}^{201}Hg + {}_{+1}^0e$ مثال: ${}_{Z}^AX \rightarrow {}_{Z-1}^{A}Y + {}_{+1}^0e$	$\beta^+$ الإصدار
تشكل النواة البنية عموماً في حالة متاثرة (متاهيجة) حيث تمتلك طاقة زائدة ناتجة عن الحركة الحرارية للنوكليونات. تتحرر هذه الطاقة الزائدة عند زوال الإثارة، فتصدر إشعاعاً. ${}_{Z}^AY^* \rightarrow {}_{Z}^AY + \gamma$	$\gamma$ الإصدار

ملاحظة : ترمز النجمة (\*) إلى الحالة المتاثرة للنواة.

## Décroissance radioactive: التناقص الإشعاعي:

التفكك التلقائي ( $\alpha$ ،  $\beta^-$  و  $\beta^+$ ) لنواة غير مستقرة  $X_z^A$  هي ظاهرة عشوائية تماماً و لا تتأثر بالشروط الفيزيائية (الحالة، درجة الحرارة، الضغط).

و عليه فإنه يستحيل توقع اللحظة التي يحدث فيها التفكك.

وبالمقابل، فإنه يمكن توقع التطور بدلالة الزمن للعدد  $N(t)$  من الأنوية المشعة  $X_z^A$  الموجودة في العينة إذا علمنا قيمة عدد الأنوية الإبتدائية  $N_0$  في اللحظة  $t=0$ . فإذا كان  $\Delta N$  هو التغير في عدد الأنوية المشعة  $X_z^A$  بين اللحظتين  $t$  و  $t + \Delta t$ ، فإن :

$$\Delta N = N(t + \Delta t) - N(t), \text{ حيث: } \Delta N < 0$$

و يكون  $\Delta N$  متناسباً - مع العدد  $(t)$  للأنوية المشعة  $X_z^A$  الموجودة في العينة في اللحظة  $t$ .

- مع المدة الزمنية  $\Delta t$ .

و بذلك نكتب :  $\Delta N = -\lambda \cdot N(t) \cdot \Delta t$  ، حيث :  $\lambda > 0$

$\lambda$  هو ثابت الإشعاع (أو ثابت التفكك) و يقدر بالوحدات التالية :  $\text{min}^{-1}$  ،  $\text{h}^{-1}$  ،  $\text{jour}^{-1}$  ،  $\text{an}^{-1}$  ،  $\text{s}^{-1}$ . ملاحظة : في العبارة  $\Delta N = -\lambda \cdot N(t) \cdot \Delta t$  إذا كان  $\lambda$  مقدراً بـ  $(\text{s}^{-1})$ ، فإن الحد  $\Delta t$  يكون مقدراً بالثانية (s).

نعطي في الجدول التالي رتبة مقدار ثابت الإشعاع في بعض الأنوية المشعة :

$^{15}_8 O$	$^{222}_{86} Rn$	$^{236}_{92} U$	$^{14}_6 C$	النواة
$0,340 \text{ min}^{-1}$	$0,18 \text{ jour}^{-1}$	$2,96 \cdot 10^{-8} \text{ an}^{-1}$	$1,21 \cdot 10^{-4} \text{ an}^{-1}$	ثابت الإشعاع ( $\lambda$ )

يمكن كتابة العلاقة  $\frac{\Delta N}{\Delta t} + \lambda \cdot N = 0$  بالشكل التالي :  $\Delta N = -\lambda \cdot N \cdot \Delta t$

و في الحالة التي يكون فيها  $\Delta N$  و  $\Delta t$  متناهيين في الصغر، فإن  $\frac{\Delta N}{\Delta t}$  تكتب بالشكل .

و بذلك نحصل على المعادلة التفاضلية التالية :  $\frac{dN}{dt} + \lambda \cdot N = 0$

و يعطى حلها قانون التناقص الإشعاعي التالي :

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

حيث  $N_0$  هو العدد الإبتدائي للأنوية المشعة.

نشاط عينة مشعة :

يوافق نشاط عينة إلى عدد التفككات التي تخضع لها في الثانية الواحدة :

$$A = -\frac{dN}{dt}$$

$$A(t) = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$$\text{أي أن: } A(t) = \lambda \cdot N(t)$$

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

و بوضع :  $A_0 = \lambda \cdot N_0$  ، نجد :

يقيس النشاط A بالبيكرال (Bq). و يعادل البيكرال الى تفكك واحد في الثانية الواحدة. نعطي في الجدول التالي القيم التقديرية لنشاط بعض المنشعات الإشعاعية :

النشاط	المنشع الإشعاعي
1Bq	1L من ماء المطر
10 Bq	1L من الماء المعدني
1000 Bq	رجل كتلته 70kg
$2 \cdot 10^9$ Bq	1g من البلوتونيوم

### ثابت الزمن $\tau$ : Constante de temps :

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

يعرف ثابت الزمن  $\tau$  المميز لنواة مشعة بالعلاقة التالية :

و يمثل الزمن الموافق واللازم لتفكيك 63% من الأنوية المشعة الابتدائية  $N_0$ .

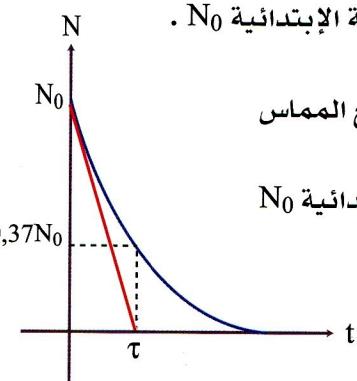
يمكن تعين ثابت الزمن  $\tau$  ببياناً بأحدى الطريقتين التاليتين :

- هو الزمن الموافق إلى فاصلة نقطة تقاطع محور الأزمنة مع المماس

للمنحني البياني  $N(t)$  (أو  $A(t)$ ) في اللحظة  $t=0$ .

- هو الزمن الموافق كي يبقى سوي 37% من عدد الأنوية الابتدائية  $N_0$

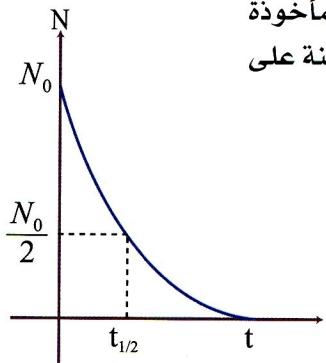
أي  $0,37 N_0$ .



### نصف العمر $t_{1/2}$ : Demi-vie :

يافق نصف العمر ( $t_{1/2}$ ) لنواة مشعة إلى المدة الزمنية اللازمة كي يتفكك نصف عدد أنوية العينة الموجودة في اللحظة  $t=0$  (المأخوذة كمبداً للأزمنة) أو المدة الزمنية اللازمة كي يقسم نشاط العينة على اثنين.

$$\text{أي أن : } A(t_{1/2}) = \frac{A_0}{2} \quad \text{أو} \quad N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$$



العلاقة بين  $t_{1/2}$  و  $\tau$  :

$$N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$$

$$\text{لدينا تعريفاً : } N(t_{1/2}) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_{1/2}}$$

$$\text{إذن : } N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} = \frac{N_0}{2} \Rightarrow e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} = \frac{1}{2}$$

$$\text{و منه : } \ln(e^{-\lambda \cdot t_{1/2}}) = \ln \frac{1}{2} \Rightarrow -\lambda \cdot t_{1/2} = -\ln 2$$

$$\text{إذن : } t_{1/2} = \tau \cdot \ln 2$$

$$\text{إذن : } t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

نصف العمر	العنصر المشع
$2,4 \times 10^4$ ans	$^{239}_{94}Pu$
$7,2 \times 10^8$ ans	$^{235}_{92}U$
5730 ans	$^{14}_6C$
30 ans	$^{137}_{55}Cs$
270 jours	$^{57}_{27}Co$

### نتائج و تطبيقات النشاط الإشعاعي :

#### 1. الأفعال البيولوجية :

تُحدث الجسيمات  $\alpha$ ،  $\beta^+$  و  $\beta^-$  وكذلك الإشعاعات  $\gamma$  عند اختراقها أجسامنا تأينات تتسبب في تحطيم و تخريب الخلايا و قد يؤدي ذلك إلى الموت، كما يمكن أن تؤدي الإشعاعات إلى تغيير ADN و التي ينتج عنها تشوّهات جينية.

فكلما كان النشاط معتبراً كلما كانت الأخطار و الأضرار المنجرة عنه كبيرة و وخيمة.

#### 2. التطبيقات :

للنظام الإشعاعي تطبيقات واسعة في المجالات التالية : التاريخ في الجيولوجيا و علم الآثار، العلاج بالأشعة، التصوير الطبي و التعقيم.

### التكافؤ كتلة - طاقة :

إن مفهوم علاقـة التكافـؤ بـين الطـاقـة و الكـتـلـة ضـرـوري لـفـهـم الـظـواـهـر الـنوـوـيـة. بنـى البـير إـنـشتـاـين (Albert Einstein) سـنة 1905 النـظـرـيـة النـسـبـيـة الـتـي بـمـوجـبـها كـل جـسـيـمة تـمـتـلـك طـاقـة فـقـط لـأـن لـهـا كـتـلـة.

**علاقة إنشتاين :** كل جملة تمتلك، حتى ولو كانت ساكنة، بفعل كتلتها طاقة تسمى

"طاقة الكتلة" و التي تحسب من علاقة إنشتاين:  $E = m \cdot c^2$

حيث  $c$  هي سرعة الضوء في الفراغ:  $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

$E$  طاقة الكتلة بالجول (J).

$m$  الكتلة بالكيلوغرام (kg).

و تسمى علاقـة إنـشتـاـين أـيـضـا عـلـاقـة التـكـافـؤ بـين الكـتـلـة و الطـاقـة.

### طاقةربط النواة : Energie de liaison

#### 1. النقص في كتلة النواة :

ت تكون النواة  $X^A_Z$  من  $Z$  بروتونا و  $(A-Z)$  نوترونـا.

$m_x = Z.m_p + (A-Z).m_n$  تحقق المساواة التالية :

نتوقع أن كتلة هذه النواة  $m_x$  تتحقق المساواة التالية :

حيث :  $m_p$  و  $m_n$  هما كتلت البروتون والنيترون على التوالي. لكن الحقيقة تثبت غير ذلك، على اعتبار أن كتلة النواة تختلف عن مجموع كتل نيوكليلوناتها المعزولة والساكنة. وبالتالي فإنه يوجد نقص في الكتلة  $\Delta m$  معروفة على النحو التالي :

$$m = Z \cdot m_p + (A-Z) \cdot m_n - m_x \Delta$$

## 2. طاقة الرابط :

طاقة الرابط  $E_\ell$  لنواة هي الطاقة التي يجب تقديمها لنواة ساكنة  $X^A_Z$  في مرجع معين، من أجل تفككها إلى مختلف نيوكليلوناتها المعزولة والساكنة.

و حسب قانون انحفاظ الطاقة، نكتب :

$$\underbrace{m_x \cdot c^2}_{\text{طاقة كتلة النواة } X^A_Z} + E_\ell = \underbrace{Z \cdot m_p \cdot c^2}_{\text{طاقة كتلة البروتونات}} + \underbrace{(A-Z)m_n \cdot c^2}_{\text{طاقة كتلة النيترونات}}$$

و منه نستنتج طاقة ربط النواة :

$$E_\ell = [Z m_p + (A-Z)m_n] \cdot c^2 - m_x \cdot c^2$$

$$E_\ell = \Delta m \cdot c^2$$

## 3. وحدة الطاقة والكتلة :

يستعمل في التbadلات الطاقوية على المستوى الذري وحدات أكثر ملاءمة لقياس الطاقة :

- الإلكترون فولط :  $1 \text{eV} \approx 1,6 \times 10^{-19} \text{J}$

- الكيلو إلكترون فولط :  $1 \text{KeV} \approx 1,6 \times 10^{-16} \text{J}$

- الميغا إلكترون فولط :  $1 \text{MeV} \approx 1,6 \times 10^{-13} \text{J}$

كما تستعمل وحدة خاصة لقياس كتل الأنوبيه والذرات هي وحدة الكتلة الذرية (u)، حيث :

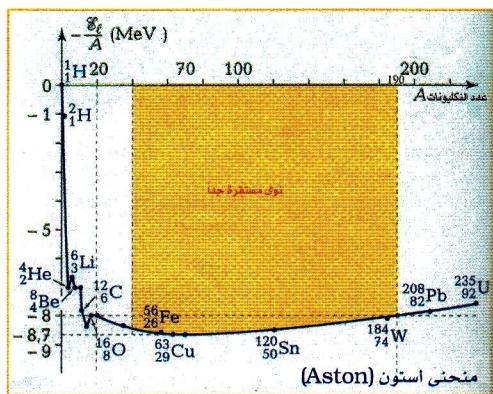
$$1 \text{u} = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{kg}$$

## 4. طاقة الرابط للنوكليون : Energie de liaison par nucléon

تكون طاقة ربط النواة كبيرة كلما كانت النواة أثقل.

و على سبيل المثال، تساوي طاقة ربط نواة الأورانيوم  $^{235}_{92}U$  إلى  $1743,5 \text{MeV}$  بينما تساوي هذه الطاقة في نواة الحديد  $^{56}_{26}Fe$  إلى  $478,8 \text{MeV}$ . فيبدو من الوهلة الأولى أن نواة الأورانيوم  $^{235}_{92}U$  هي أكثر استقراراً من نواة الحديد  $^{56}_{26}Fe$ .

لكن الحقيقة أن الحديد أكثر استقراراً من الأورانيوم !



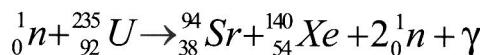
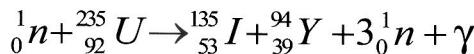
للمقارنة بين استقرار أنوية مختلفة، يجب المقارنة بين طاقات الربط لكل نكليون في هذه

$$\frac{E_\ell}{A}$$

توجد الأنوية الأكثر استقرارا في الجزء السفلي من منحنى أستون. تكون النواة أكثر استقرارا كلما كانت طاقة الربط لكل نكليون  $\frac{E_\ell}{A}$  كبيرة في هذه النواة. يسمح تحليل منحنى أستون بتوقع طريقتين للحصول على الطاقة من الأنوية: الانشطار و الاندماج.

### الانشطار النووي : La fission nucléaire :

النوترنات هي جسيمات متعادلة كهربائيا تم اكتشافها من طرف العالم الإنجليزي جايames شادويك سنة 1932. تستعمل النوترنات في قصف أنوية الأورانيوم للحصول على أنوية أخرى. فعندما يصطدم نوترون، محمي بطاقة مناسبة، بنيابة الأورانيوم 235، فإن ذلك يؤدي إلى انشطار نواة الأورانيوم إلى نواثين خفيفتين مع تحرير عدد معين من النوترنات كما تبينه معادلتان الانشطار الممكنتان التاليتان :



الانشطار هو تفاعل نووي مفتعل يتم خلاله انشطار (انقسام) نواة ثقيلة إلى نواثين خفيفتين تحت تأثير صدمة النوترن بالنواة.

### الاندماج النووي : la fusion nucléaire :

الاندماج هو تفاعل نووي مفتعل يتم خلاله التحام نواثين خفيفتين لتشكيل نواة أثقل مع تحرير طاقة.

و يعتبر تفاعل اندماج نوادي  ${}_{1}^2 H + {}_{1}^3 H \rightarrow {}_{2}^4 He + {}_{0}^1 n$  (الديوتريوم و  ${}_{1}^3 H$  (الтриتيوم) هو التفاعل الأكثر دراسة في المخابر حاليا :

