



بطاقات منهجية

في

# الفيزياء

Hard equation

## التحويلات النووية

Transformations nucléaires

Physique

# BAC

# التحولات النووية



## Transformations Nucléaires

### النشاط الإشعاعي : Radioactivité

تم اكتشاف ظاهرة النشاط الإشعاعي صدفة من طرف الفيزيائي الفرنسي هنري بيكرال Henry Becquerel سنة 1896 حيث لاحظ أن أملاح الأورانيوم الموضوعة داخل درج مغلق تترك أثرا على لوحات فوتوغرافية موجودة إلى جانب هذه الأملاح كما لو تعرضت لضوء الشمس، فاستنتج من ذلك أن هذه الأملاح تصدر تلقائيا إشعاعا غير مرئي.

و تواصلت دراسة النشاط الإشعاعي على يد العالمين بيار و ماري كوري ( Pierre et Marie Curie ) باكتشاف عنصرين مشعين هما الراديوم و البولونيوم. و قد توجت نتائج أبحاثهم بالحصول على جائزة نوبل (Nobel) سنة 1903.

**النشاط الإشعاعي هو ظاهرة نووية تمس أنوية الذرات حيث أن النواة المشعة (النواة الأم) تتفكك تلقائيا لتعطي نواة جديدة (النواة البنت) مرفوقة بإصدار جسيمة و إشعاع كهرومغناطيسي.**

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

تصدر خلاله جسيمة $\alpha$ و هي عبارة على نواة الهيليوم ${}^4_2\text{He}$ . يتم طرد هذه الجسيمات من النواة بسرعة كبيرة ( $20000\text{km.s}^{-1}$ )، فتخترق المادة بانتزاع الإلكترونات منها، فهي جسيمات مؤينة تحمل شحنة كهربائية موجبة.	<b>تفكك من النوع <math>\alpha</math></b>
يصدر خلاله إلكترون ${}^0_{-1}e$ . الجسيمات $\beta^-$ هي إلكترونات يتم طردها من النواة، شحنتها سالبة.	<b>تفكك من النوع <math>\beta^-</math></b>
يصدر خلاله بوزيتون ( ${}^0_1e$ positon). الجسيمات $\beta^+$ هي بوزيتونات يتم طردها من النواة، شحنتها موجبة.	<b>تفكك من النوع <math>\beta^+</math></b>
يصدر خلاله إشعاع كهرومغناطيسي $\gamma$ ، هو من نفس طبيعة الضوء و طول موجته قصير جدا. و يعتبر الإشعاع $\gamma$ نافذا و خطيرا على الإنسان يجب تجنبه و الحماية منه.	<b>تفكك من النوع <math>\gamma</math></b>

### مجالات استقرار و عدم استقرار الأنوية : مخطط (Z,N) Segré

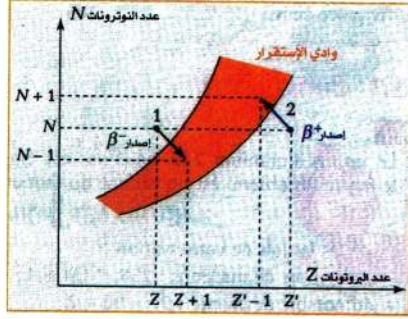
النواة المشعة (النواة الأم) هي نواة غير مستقرة يمكنها أن تتفكك تلقائيا لتعطي نواة أخرى (النواة البنت) مع إصدار دقيقة  $\alpha$  أو  $\beta$  و إشعاع  $\gamma$  على العموم.

يحتوي المخطط (Z,N) على مجموع الأنوية المعروفة و قد تم تمثيل كل نواة على هذا المخطط بثنائية (Z,N).



## الأنوية المستقرة : Noyaux stables :

- من أجل  $Z \leq 20$  : يكون عدد البروتونات و عدد النوترونات متقاربين في الأنوية المستقرة، و تكون هذه الأنوية موجودة بجوار المستقيم  $N = Z$  كما هو الحال مثلا بالنسبة لأنوية :  ${}^{20}_{10}\text{Ne}$  ،  ${}^{16}_8\text{O}$  ،  ${}^{14}_7\text{N}$  ،  ${}^{12}_6\text{C}$  ،  ${}^4_2\text{He}$

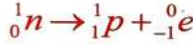


- من أجل  $Z > 20$  : يكون عدد النوترونات أكبر من عدد البروتونات. تتواجد الأنوية المستقرة فوق المستقيم  $N = Z$ ، كما هو الحال مثلا بالنسبة لنواة  ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ . يسمى المجال الذي يحتوي على الأنوية المستقرة "وادي الإستقرار" (Zone de stabilité).

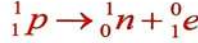
## الأنوية غير المستقرة : Noyaux instables :

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

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



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



- النواة الأم تحتوي على عدد كبير من النوكليونات (الأنوية الثقيلة حيث  $A > 200$ ). تتفكك النواة الأم تلقائيا 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.

${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$ مثال : ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_2^4\text{He}$	الإصدار $\alpha$
${}_{27}^{60}\text{Co} \rightarrow {}_{28}^{60}\text{Ni} + {}_{-1}^0e$ مثال : ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + {}_{-1}^0e$	الإصدار $\beta^-$
${}_{81}^{201}\text{Tl} \rightarrow {}_{80}^{201}\text{Hg} + {}_1^0e$ مثال : ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^AY + {}_1^0e$	الإصدار $\beta^+$
تتشكل النواة البنت عموما في حالة مثارة (متهيجة) حيث تمتلك طاقة زائدة ناتجة عن الحركية الحرارية للنوكليونات. تتحرر هذه الطاقة الزائدة عند زوال الإثارة، فتصدر إشعاعا $\gamma$ . ${}_Z^AY^* \rightarrow {}_Z^AY + \gamma$	الإصدار $\gamma$

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

## التناقص الإشعاعي: Décroissance radioactive

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

و عليه فإنه يستحيل توقّع اللحظة التي يحدث فيها التفكك.

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

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

و يكون  $\Delta N$  متناسبا : - مع العدد  $N(t)$  للأنوية المشعة  ${}^A_ZX$  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 :  $\text{an}^{-1}$  ،  $\text{jour}^{-1}$  ،  $\text{h}^{-1}$  ،  $\text{min}^{-1}$  ،  $\text{s}^{-1}$ .  
ملاحظة : في العبارة  $\Delta N = -\lambda \cdot N(t) \cdot \Delta t$  إذا كان  $\lambda$  مقدرا بـ  $(\text{s}^{-1})$ ، فإن الحد  $\Delta t$  يكون مقدرا بالثانية (s).

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

النواة	${}^{14}_6C$	${}^{236}_{92}U$	${}^{222}_{86}Rn$	${}^{15}_8O$
ثابت الإشعاع ( $\lambda$ )	$1,21 \cdot 10^{-4} \text{an}^{-1}$	$2,96 \cdot 10^{-8} \text{an}^{-1}$	$0,18 \text{ jour}^{-1}$	$0,340 \text{ min}^{-1}$

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

و في الحالة التي يكون فيها  $\Delta N$  و  $\Delta t$  متناهيين في الصغر، فإن  $\frac{\Delta N}{\Delta t}$  تكتب بالشكل  $\frac{dN}{dt}$ .  
و بذلك نحصل على المعادلة التفاضلية التالية :  $\frac{dN}{dt} + \lambda \cdot N = 0$   
و يعطي حلها قانون التناقص الإشعاعي التالي :

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

حيث  $N_0$  هو العدد الابتدائي للأنوية المشعة.

### نشاط عينة مشعة :

يوافق نشاط عينة إلى عدد التفككات التي تخضع لها في الثانية الواحدة :  $A = -\frac{dN}{dt}$

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

أي أن :  $A(t) = \lambda \cdot N(t)$

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

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

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

النشاط	المنبع الإشعاعي
1Bq	1L من ماء المطر
10 Bq	1L من الماء المعدني
1000 Bq	رجل كتلته 70kg
$2.10^9$ Bq	1g من البلوتونيوم

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

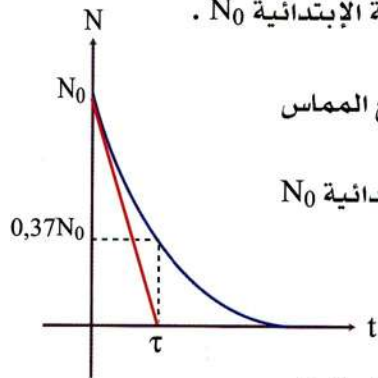
يعرف ثابت الزمن  $\tau$  المميز لنواة مشعة بالعلاقة التالية :  $\tau = \frac{1}{\lambda}$

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

يمكن تعيين ثابت الزمن  $\tau$  بانيًا بإحدى الطريقتين التاليتين :

- هو الزمن الموافق إلى فاصلة نقطة تقاطع محور الأزمنة مع المماس للمنحنى البياني  $N(t)$  (أو  $A(t)$ ) في اللحظة  $t = 0$  .

- هو الزمن الموافق كي يبقى سوى 37% من عدد الأنوية الابتدائية  $N_0$  أي  $0,37 N_0$  .



### نصف العمر $t_{1/2}$ : Demi-vie

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

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

### العلاقة بين $t_{1/2}$ و $\tau$ :

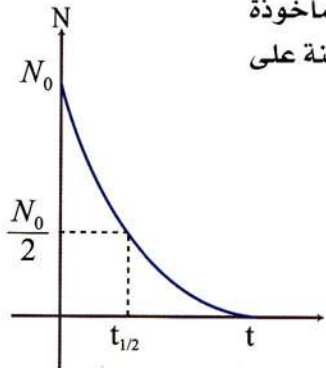
$$\text{لدينا تعريفًا : } N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$$

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

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

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

$$\text{إذن : } t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad \text{أو} \quad t_{1/2} = \tau \cdot \ln 2$$





يوضح الجدول التالي رتبة مقدار نصف عمر بعض العناصر المشعة :

العنصر المشع	نصف العمر
$^{239}_{94}\text{Pu}$	$2,4 \times 10^4$ ans
$^{235}_{92}\text{U}$	$7,2 \times 10^8$ ans
$^{14}_6\text{C}$	5730 ans
$^{137}_{55}\text{Cs}$	30 ans
$^{57}_{27}\text{Co}$	270 jours

## نتائج و تطبيقات النشاط الإشعاعي :

### 1. الأفعال البيولوجية :

تحدث الجسيمات  $\alpha$ ,  $\beta^+$  و  $\beta^-$  وكذلك الإشعاعات  $\gamma$  عند اختراقها أجسامنا تأينات تتسبب في تحطيم و تخریب الخلايا و قد يؤدي ذلك إلى الموت، كما يمكن أن تؤدي الإشعاعات إلى تغيير الـ ADN و التي ينتج عنها تشوهات جينية. فكلما كان النشاط معتبرا كلما كانت الأخطار و الأضرار المنجزة عنه كبيرة و وخيمة.

### 2. التطبيقات :

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

## التكافؤ كتلة - طاقة :

إن مفهوم علاقة التكافؤ بين الطاقة و الكتلة ضروري لفهم الظواهر النووية.

بنى ألبير إنشتاين (Albert Einstein) سنة 1905 النظرية النسبية التي بموجبها كل جسيمة تمتلك طاقة فقط لأن لها كتلة.

**علاقة إنشتاين :** كل جملة تمتلك، حتى و لو 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).

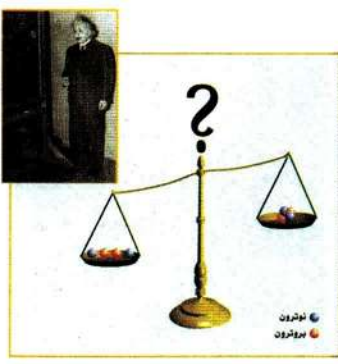
و تسمى علاقة إنشتاين أيضا علاقة التكافؤ بين الكتلة و الطاقة.

## طاقة ربط النواة : Énergie de liaison

### 1. النقص في كتلة النواة :

تتكون النواة  $^A_Z\text{X}$  من  $Z$  بروتونا و  $(A-Z)$  نوترونا.

نتوقع أن كتلة هذه النواة  $m_X$  تحقق المساواة التالية :  $m_X = Z.m_p + (A-Z).m_n$



حيث :  $m_p$  و  $m_n$  هما كتلتا البروتون و النوترون على التوالي.  
لكن الحقيقة تثبت غير ذلك، على اعتبار أن كتلة النواة تختلف  
عن مجموع كتل نيوكليوناتها المعزولة و الساكنة.  
و بالتالي فإنه يوجد نقص في الكتلة  $\Delta m$  معرف على  
النحو التالي :

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

## 2. طاقة الربط :

طاقة الربط  $E_\ell$  لنواة هي الطاقة التي يجب تقديمها لنواة ساكنة  ${}^A_Z X$  في مرجع معين، من أجل  
تفكيكها إلى مختلف نيوكليوناتها المعزولة و الساكنة.

و حسب قانون انحفاظ الطاقة، نكتب :

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

و منه نستنتج طاقة ربط النواة :

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

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

## 3. وحدة الطاقة و الكتلة :

يستعمل في التبادلات الطاقوية على المستوى الذري وحدات أكثر ملائمة لقياس الطاقة :

- الإلكترون فولت :  $1\text{eV} \approx 1,6 \times 10^{-19}\text{J}$
- الكيلو إلكترون فولت :  $1\text{KeV} \approx 1,6 \times 10^{-16}\text{J}$
- الميغا إلكترون فولت :  $1\text{MeV} \approx 1,6 \times 10^{-13}\text{J}$

كما تستعمل وحدة خاصة لقياس كتل الأنوية و الذرات هي وحدة الكتلة الذرية (u)، حيث :

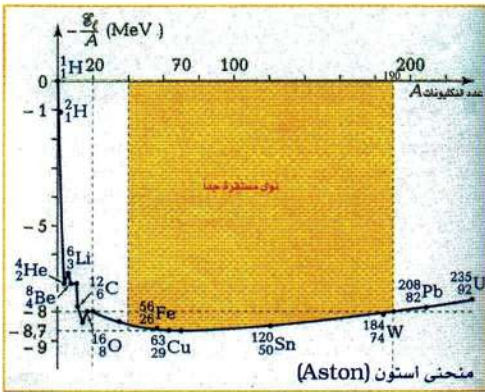
$$1u = 1,66054. 10^{-27} \text{ kg}$$

## 4. طاقة الربط للنكليون : Énergie de liaison par nucléon

تكون طاقة ربط النواة كبيرة كلما كانت النواة  
أثقل.

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

لكن الحقيقة أن الحديد أكثر استقرارا من  
الأورانيوم !

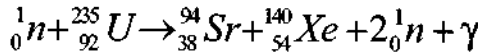
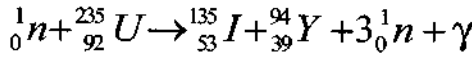


للمقارنة بين استقرار أنوية مختلفة، يجب المقارنة بين طاقات الربط لكل نكليون في هذه الأنوية، أي:  $\frac{E_b}{A}$

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

### الانشطار النووي : La fission nucléaire

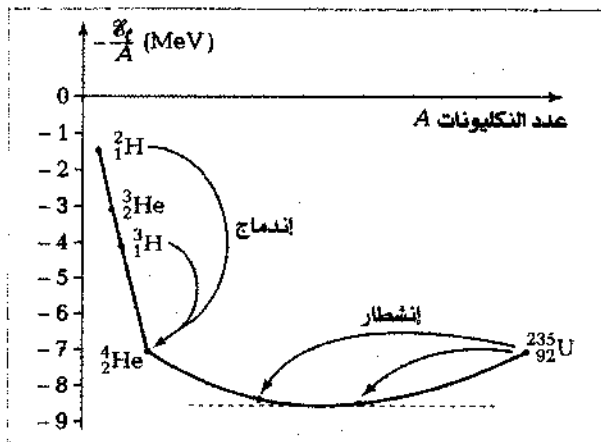
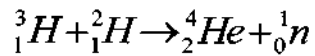
النوترونات هي جسيمات متعادلة كهربائيا تم اكتشافها من طرف العالم الإنجليزي جايمس شادويك سنة 1932. تستعمل النوترونات في قصف أنوية الأورانيوم للحصول على أنوية أخرى. فعندما يصطدم نوترون، يحمل بطاقة مناسبة، بنواة الأورانيوم 235، فإن ذلك يؤدي إلى انشطار نواة الأورانيوم إلى نواتين خفيفتين مع تحرير عدد معين من النوترونات كما تبينه معادلتا الانشطار الممكنتان التاليتان :



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

### الاندماج النووي : la fusion nucléaire

الاندماج هو تفاعل نووي مفتعل يتم خلاله التحام نواتين خفيفتين لتشكيل نواة أثقل مع تحرير طاقة. و يعتبر تفاعل اندماج نواتي  ${}_1^2\text{H}$  (الديوتريوم) و  ${}_1^3\text{H}$  (التريتيوم) هو التفاعل الأكثر دراسة في المخابر حاليا :





أخي / أختي

إن إستفدت من هذا الملف فالرجاء أن تدع لي



و للمؤلف بالخير و النجاح و المغفرة.

Hard\_equation