

***TEMA 10.***  
***FÍSICA NUCLEAR***  
***(radioactivitat)***



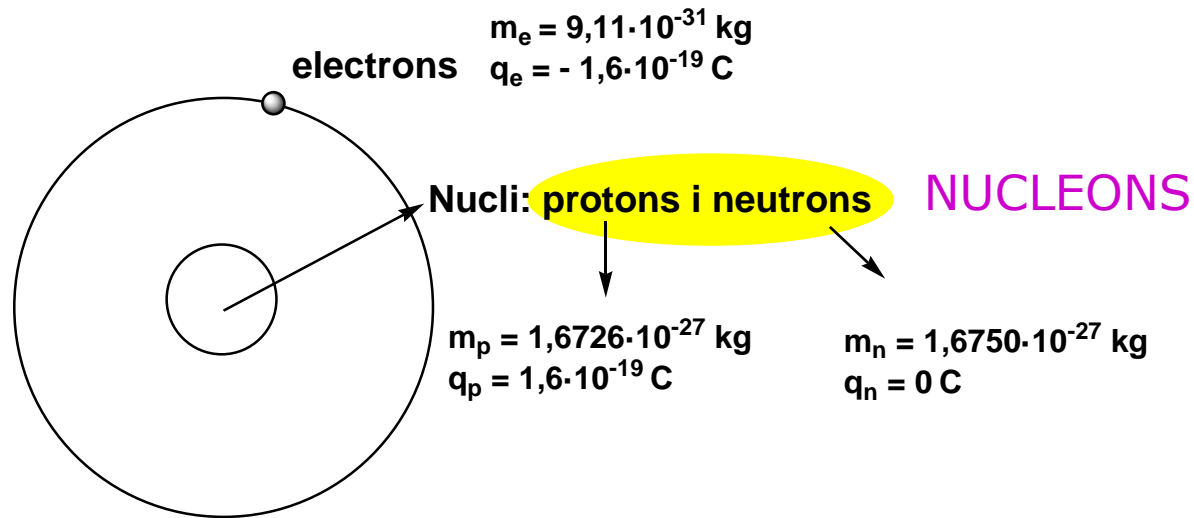
# ***ÍNDEX***

---

- **10.1. L'àtom**
- **10.2. Energia d'enllaç i defecte de massa**
- **10.3. Radioactivitat . Partícules emeses en la radioactivitat**
- **10.4. Reaccions nuclears**
- **10.5. Llei de la desintegració radioactiva**
- **10.6. Fissió i Fusió nuclear**
- **10.7. Aplicacions de la radioactivitat**
- **10.8. Partícules subatòmiques i forces fonamentals**

# 10.1. L'àtom

Com ja sabeu l'àtom està format per un nucli (on trobem els protons i els neutrons) i una escorça on troben els electrons girant al voltant del nucli.

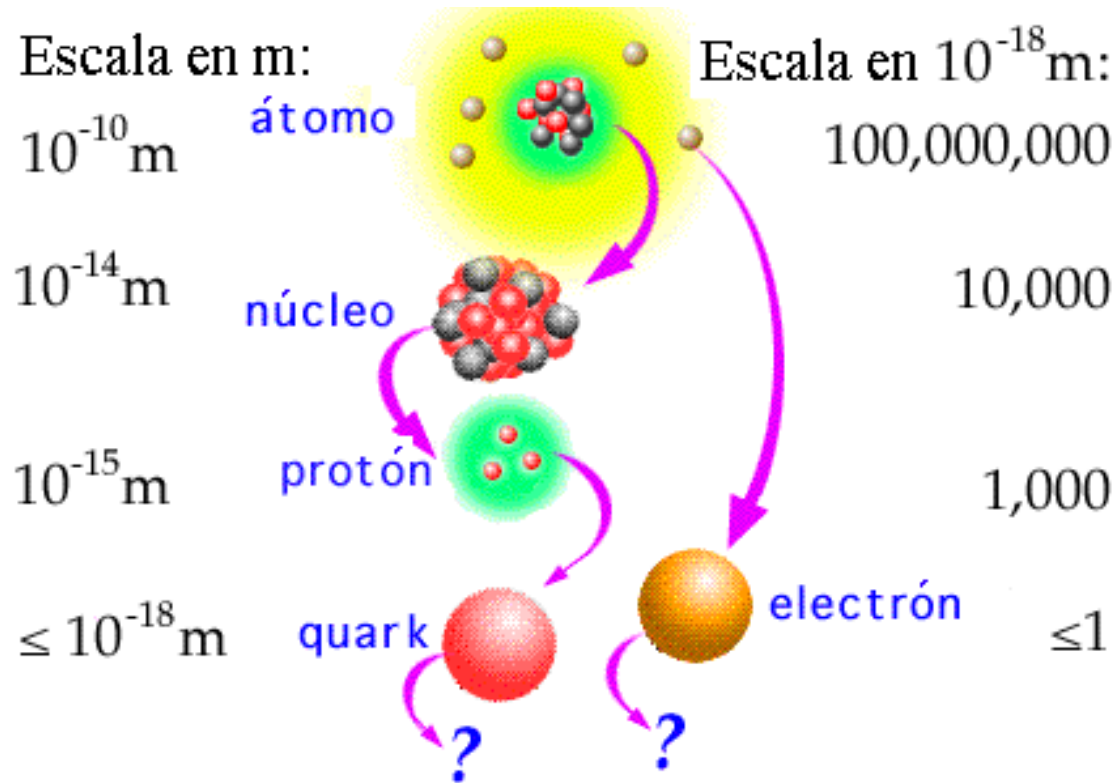


Entre el nucli i l'escorça no hi ha res, el BUIT.

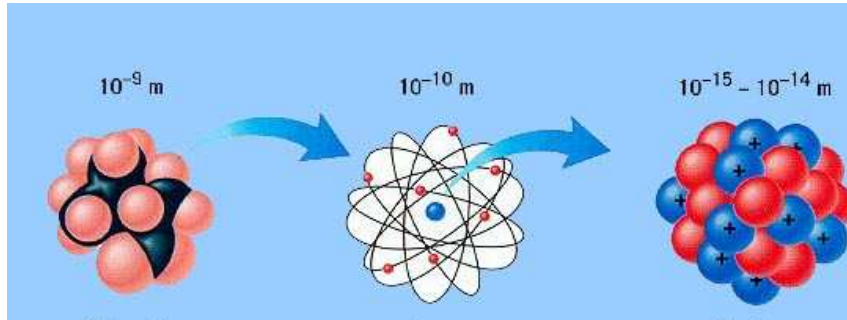
Els protons i els neutrons no són partícules elementals, sinó que cadascuna d'elles està formada per tres quarks.



1 Protó o 1 neutró està format per tres quarks



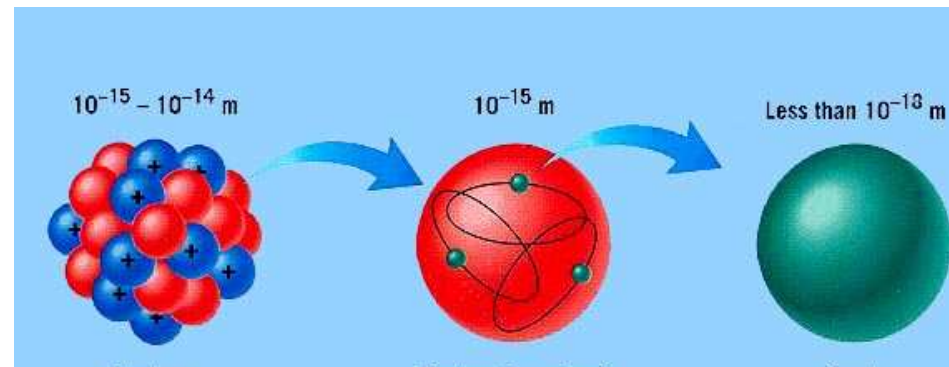
**Els electrons i els quarks de moment són partícules elementals (al seu interior no troben altra partícula).**



**Molècula**  
(unió d'àtoms)

**Àtom**

**Nucli (protons i neutrons)**



**Nucli**

**1 neutró conté  
tres quarks**

**quark**

**Nombre atòmic (Z)**

Indica el nombre de protons que té el nucli d'aquell àtom.

**Zp (Z = protons)**

**Nombre màssic (A)**

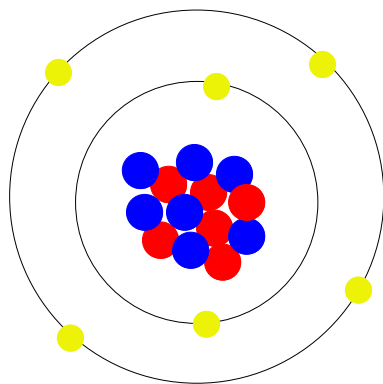
Indica el nombre de protons + neutrons que té el nucli d'aquell àtom.  
És a dir el nombre de partícules que hi ha al nucli.

**A = p + n**

**AZN (A = Z + n)**

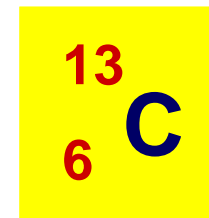
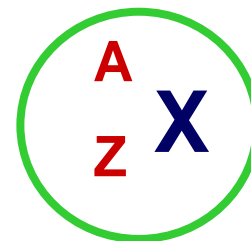
**Àtom neutre**

Si no ens diuen el contrari, l'àtom és neutre, per tant, té el mateix nombre d'electrons que de protons.

**Àtom de carboni**

- Electrò (6)
- Neutrò (7)
- Protó (6)

**Nombre atòmic**    **Z = 6**  
**Nombre màssic**    **A = 6 p + 7 n = 13**  
**Nombre d'electrons = 6**



Exercici 1. Indica el nombre d'electrons, protons i neutrons que té l'àtom de clor:



Protons = 17  
Electrons = 17  
Neutrons =  $35 - 17 = 18$

## ISÒTOPS

Són àtoms del mateix element, és a dir, contenen el mateix nombre de protons però diferent nombre de neutrons.



## 10.2. Energia d'enllaç i defecte de massa

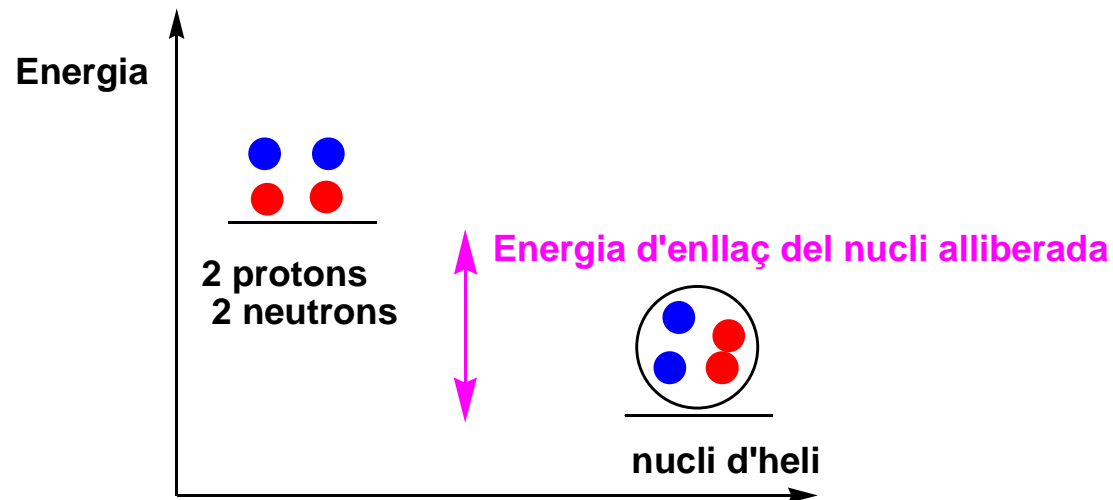
D6

Si es vol trencar un nucli per aïllar els seus protons i neutrons, s'ha d'aportar una certa energia. Aquesta energia coincideix amb l'energia alliberada en formar-se el nucli a partir del seus components i rep el nom d'energia d'enllaç.

### Energia d'enllaç d'un nucli

L'energia alliberada quan els seus nucleons (protons i neutrons) aïllats s'uneixen per a formar el nucli.

El nucli és més estable (menys energètic) que el conjunt dels seus nucleons aïllats, ja que en formar-se s'allibera energia.



Segons la física relativista, aquest alliberament d'energia està associat a un canvi de massa ( $\Delta m$ ).

$$\text{Energia} = \Delta m \cdot c^2$$

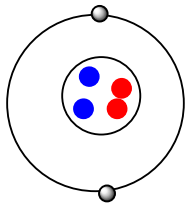


## Defecte de massa ( $\Delta m$ )

Quan es forma el nucli es veu que la massa del nucli sempre és més petita que la suma de les masses dels protons i dels neutrons que el formen.

$$m(\text{nucli}) < m(\text{protons}) + m(\text{neutrons})$$

Aquesta diferència de massa, es coneix amb el nom defecte de massa ( $\Delta m$ ). Així que es comprova que la pèrdua de massa està lligada a l'alliberament d'energia que té lloc quan es forma el nucli.



massa de l'àtom d'heli = 4,002603 u

(u és una unitat de massa atòmica  $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ )

$$m_{\text{protó}} = 1,007277 \text{ u} ; m_{\text{neutró}} = 1,008665 \text{ u} \text{ i } m_{\text{electró}} = 0,000549 \text{ u}$$

Degut a què la massa de l'electró és molt petita, generalment es pren com a massa nuclear la massa atòmica. **Massa del nucli = massa atòmica.**

a) Calculem el defecte de massa      massa del nucli d'heli = 4,002603 u

$$\Delta m = (2 \cdot 1,007277 \text{ u} + 2 \cdot 1,008655 \text{ u}) - (4,002603) = 0,029261 \text{ u}$$

b) Calculem l'energia d'enllaç tenint en compte que una d'1 u té associada una energia de 931 MeV

$$0,029261 \text{ u} \cdot \frac{931,5 \text{ MeV}}{1 \text{ u}} = 27,3 \text{ MeV}$$

### A ESCALA ATÒMICA ES DEFINEIX:

- UNA NOVA UNITAT DE MASSA  $u$  (unitat de massa atòmica,  $1 u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ )

$$m_{\text{protó}} = 1,007277 u ; \quad m_{\text{neutró}} = 1,008665 u \quad m_{\text{electró}} = 0,000549 u$$

$$m_{\text{protó}} = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg}; \quad m_{\text{neutró}} = 1,6750 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad m_{\text{electró}} = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

- UNA NOVA UNITAT D'ENERGIA  $eV$  (electronvolt,  $1 eV = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ )

**Exercici 2.** Calcula l'energia equivalent de la massa d'1  $u$  en megaelectronvolts (MeV)

$$\text{Energia} = \Delta m \cdot c^2$$

$$\text{Energia} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 1,49 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

$$1,49 \cdot 10^{-10} \text{ J} \cdot \frac{1 \text{ eV}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}} \cdot \frac{1 \text{ MeV}}{10^6 \text{ eV}} = 931,5 \text{ MeV}$$

### 10.3. Radioactivitat. Partícules emeses en la radioactivitat. Llei <sup>D9</sup> exponencial de la desintegració radioactiva.

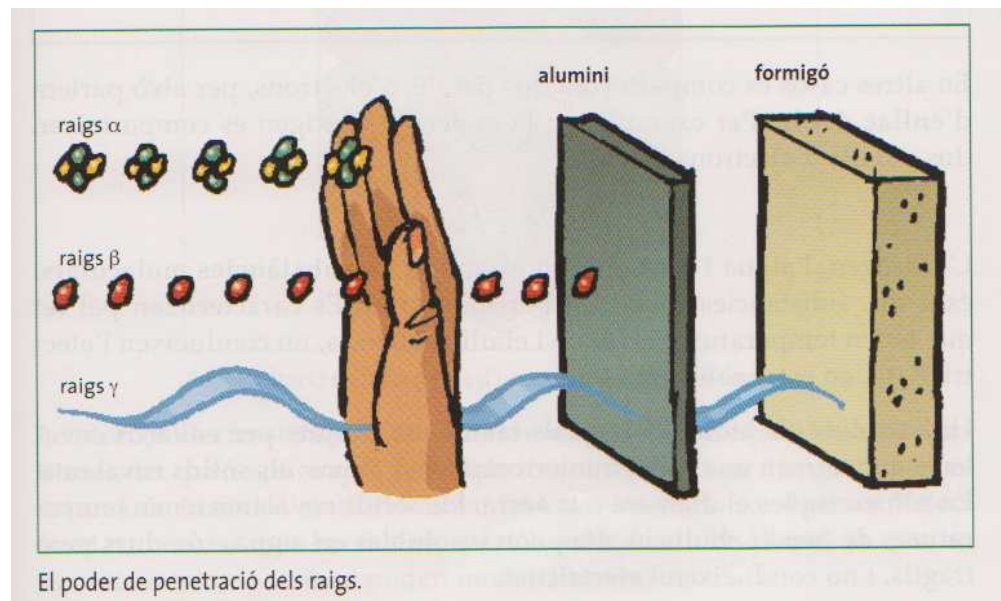
## RADIOACTIVITAT

De tots els àtoms que existeixen, hi ha alguns àtoms sobretot els que tenen nuclis molt pesats (Urani, radi, poloni,...) que són inestables o radioactius.

És a dir emeten radiacions o partícules fins a convertir-se en nuclis estables.

Per tant en la radioactivitat és la propietat que tenen les substàncies radioactives a emetre radiacions o partícules capaces de penetrar cossos opacs.

### Partícules emeses en la radioactivitat (partícules alfa, beta i gamma)



## Partícules emeses en la radioactivitat (partícules alfa, beta i gamma)

NOM	Alfa ( $\alpha$ )	Beta ( $\beta$ )	gamma ( $\gamma$ )
Composició	Nuclis d'heli (2 protons i 2 neutrons)  ${}^4_2\text{He}$	electrons ràpids  ${}^0_{-1}\text{e}$	ones electromagnètiques d'elevada freqüència  $\gamma$
Càrrega	Positiva	Negativa	Sense càrrega
Energia	augment d'energia $\longrightarrow$		
Penetració	augment de la capacitat de penetració $\longrightarrow$		
Protecció	full de paper	full d'alumini	bloc de plom

## 10.4. Reaccions nuclears.

Les reaccions nuclears poden ser:

### Naturals

A la natura, el nucli d'aquell àtom és inestable i ja emet radioactivitat de forma natural.

### Artificials

El nucli d'un àtom estable és bombardejat amb partícules lleugeres (protons, neutrons, electrons, partícules alfa....) per produir en el laboratori nuclis radioactius.

## Reaccions nuclears naturals o radioactivitat natural

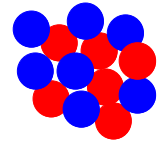
**A) Emissions alfa**

**B) Emissions beta**

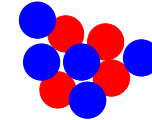
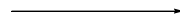
**C) Emissions gamma**

## A) Emissions alfa

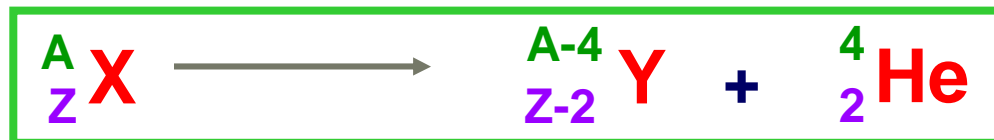
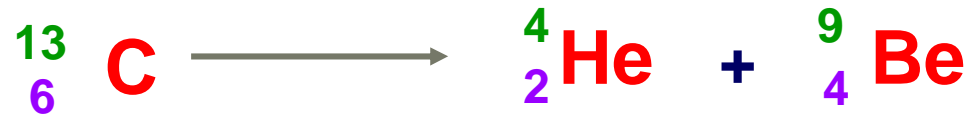
● protó ● neutró



nucli pare  
6 protons  
7 neutrons



nucli fill  
4 protons  
5 neutrons



Exemple



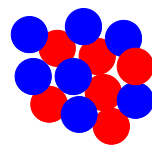
## B) Emissions beta

· Emissió d'un electró.

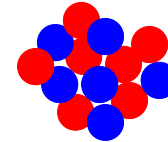
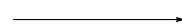
Com s'explica l'emissió d'un electró pels nuclis? Per què un neutró es desintegra donant lloc a un protó i un electró.



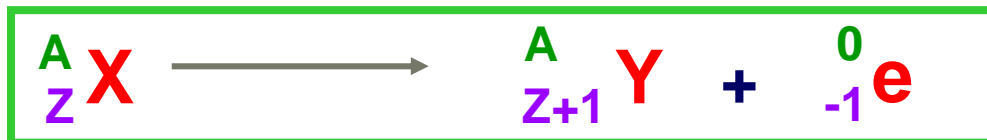
● protó    ● neutró    ● electró



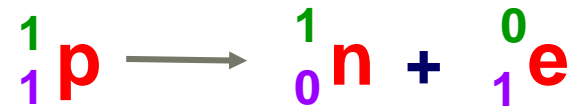
nucli pare  
6 protons  
7 neutrons



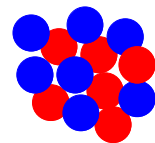
nucli fill  
7 protons  
6 neutrons



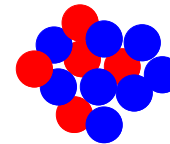
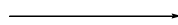
· Emissió d'un positró (és un electró amb càrrega positiva)  
 Com s'explica l'emissió d'un positró pels nuclis? Per què un protó es desintegra donant lloc a un neutró i un positró.



● protó   ● neutró   ⊕ positró



nucli pare  
6 protons  
7 neutrons



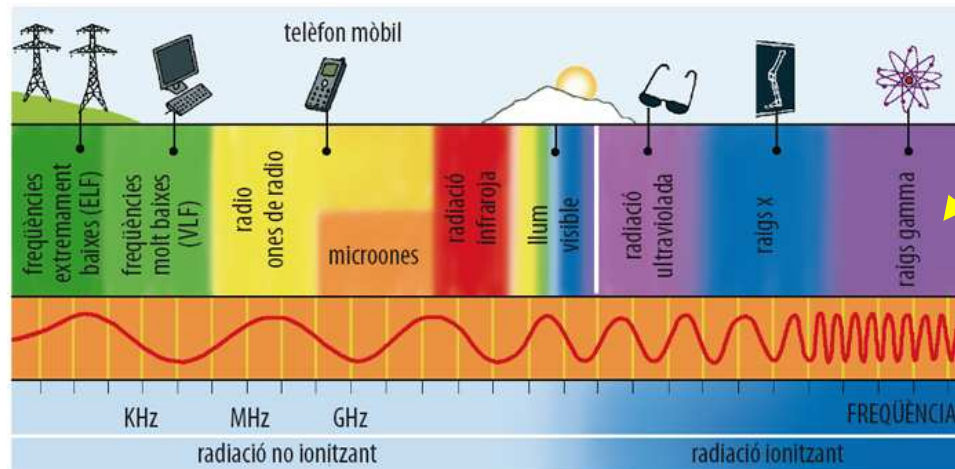
nucli fill  
5 protons  
8 neutrons





## C) Emissions gamma

Els nuclis atòmics, també es poden trobar en un estat excitat (una energia superior a la del seu estat fonamental), i quan tornen al seu estat fonamental emeten energia en forma d'ona electromagnètica.

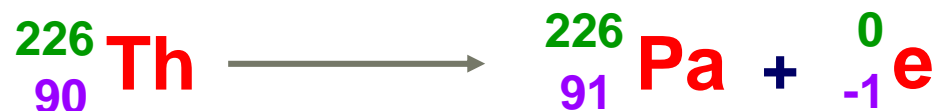


Exercici 1. Determineu el nucli resultant de les desintegracions següents:

a)  $^{226}_{88}\text{Ra}$  emet una partícula alfa ( $\alpha$ )



b)  $^{234}_{90}\text{Th}$  emet una partícula  $\beta^-$  (electró)



c)  $^{13}_7\text{N}$  emet una partícula  $\beta^+$  (positró)



6	$^{55}\text{Cs}$	$^{56}\text{Ba}$	$^{57}\text{La}$	$^{72}\text{Hf}$	$^{73}\text{Ta}$	$^{74}\text{W}$	$^{75}\text{Re}$	$^{76}\text{Os}$	$^{77}\text{Ir}$	$^{78}\text{Pt}$	$^{79}\text{Au}$	$^{80}\text{Hg}$	$^{81}\text{Tl}$	$^{82}\text{Pb}$	$^{83}\text{Bi}$	$^{84}\text{Po}$	$^{85}\text{At}$	$^{86}\text{Rn}$
7	$^{87}\text{Fr}$	$^{88}\text{Ra}$	$^{89}\text{Ac}$	$^{104}\text{Rf}$	$^{105}\text{Db}$	$^{106}\text{Sg}$	$^{107}\text{Bh}$	$^{108}\text{Hs}$										

Lantànids	6	$^{58}\text{Ce}$	$^{59}\text{Pr}$	$^{60}\text{Nd}$	$^{61}\text{Pm}$	$^{62}\text{Sm}$	$^{63}\text{Eu}$	$^{64}\text{Gd}$	$^{65}\text{Tb}$	$^{66}\text{Dy}$	$^{67}\text{Ho}$	$^{68}\text{Er}$	$^{69}\text{Tm}$	$^{70}\text{Yb}$	$^{71}\text{Lu}$
Actínids	7	$^{90}\text{Th}$	$^{91}\text{Pa}$	$^{92}\text{U}$	$^{93}\text{Np}$	$^{94}\text{Pu}$	$^{95}\text{Am}$	$^{96}\text{Cm}$	$^{97}\text{Bk}$	$^{98}\text{Cf}$	$^{99}\text{Es}$	$^{100}\text{Fm}$	$^{101}\text{Md}$	$^{102}\text{No}$	$^{103}\text{Lr}$

## Reaccions nuclears artificials o radioactivitat artificial

Són reaccions on els nuclis d'àtoms estables són bombardejats amb partícules lleugeres (protons, neutrons, electrons, partícules alfa,...) per produir nuclis inestables.

**Exercici 1.** Determina l'isòtop que falta en les següents reaccions nuclears:



Exercici 1. Donada la reacció nuclear



a) l'isòtop X a partir dels seus nombres atòmic i màssic (Z i A)



b) La massa atòmica de l'isòtop X si sabem que en aquesta reacció s'allibera una energia de 4,84 MeV per àtom de liti.

(masses atòmiques = liti-6 : 6,0151 u; triti: 3,0160 u; massa del neutró: 1,0087 u)

$$\boxed{E = \Delta m \cdot c^2} \quad 4,84 \text{ MeV} \cdot \frac{10^6 \text{ eV}}{1 \text{ MeV}} \cdot \frac{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} = 7,75368 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$\Delta m = \frac{7,75368 \cdot 10^{-13} \text{ J}}{(3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2} = 8,6152 \cdot 10^{-30} \text{ kg} \quad 8,6152 \cdot 10^{-30} \text{ kg} \cdot \frac{1 \text{ u}}{1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}} = 0,0052 \text{ u}$$

$$\Delta m = (m_{\text{liti}} + m_{\text{neutró}}) - (m_{\text{heli}} + m_{\text{triti}})$$

$$0,0052 \text{ u} = (6,0151 + 1,0087) - (m_{\text{heli}} + 3,0160)$$

$$m_{\text{heli}} = 6,0151 + 1,0087 - 3,0160 - 0,0052 = 4,0026 \text{ u}$$

Aquest apartat és més immediat si recordem que  $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}$  (una massa  $1 \text{ u}$  equival en energia igual a  $931,5 \text{ MeV}$ ).

$$4,84 \text{ MeV} \cdot \frac{1 \text{ u}}{931,5 \text{ MeV}} = 0,0052 \text{ u}$$

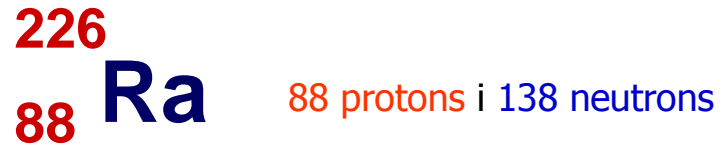
$$\Delta m = (m_{\text{liti}} + m_{\text{neutró}}) - (m_{\text{heli}} - m_{\text{triti}})$$

$$0,0052 \text{ u} = (6,0151 + 1,0087) - (m_{\text{heli}} - 3,0160)$$

$$m_{\text{heli}} = 0,0052 - 6,0151 - 1,0087 + 3,0160 = 4,0026 \text{ u}$$

Exercici 9 pàg.302 . La massa atòmica corresponent al radi 226 és Ar (Ra) = 226,0254 u i els seu nombre atòmic és 88. Troba:

- El defecte de massa
- l'energia d'enllaç per nucleó



Massa atòmica  $\simeq$  Massa del nucli

$$a) \quad \Delta m = (88 \cdot m_{\text{protó}} + 138 \cdot m_{\text{neutró}}) - (m_{\text{nucli}})$$

$$\Delta m = (88 \cdot 1,0073 \text{ u} + 138 \cdot 1,0087 \text{ u}) - (226,0254 \text{ u}) = 1,8176 \text{ u}$$

- Opció A) Passeu u a kg i apliqueu la fórmula  $E = \Delta m \cdot c^2$

Opció B) Recordeu que  $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}$

$$1,8176 \text{ u} \cdot \frac{931,5 \text{ MeV}}{1 \text{ u}} = 1693,1 \text{ MeV}$$

**Ens demanen E/nucleó = 1693,1/226 = 7,5 MeV**

Nucleó = protó i neutró

Exercici 41 pàg.312 . Si sabem que l'oxigen 16 té una massa atòmica de 15,9949 u, troba:

- El defecte de massa
- l'energia d'enllaç
- L'energia d'enllaç per nucleó



Massa atòmica  $\simeq$  Massa del nucli

$$a) \quad \Delta m = (8 \cdot m_{\text{protó}} + 8 \cdot m_{\text{neutró}}) - (m_{\text{nucli}})$$

$$\Delta m = (8 \cdot 1,0073 \text{ u} + 8 \cdot 1,0087 \text{ u}) - (15,9949 \text{ u}) = 0,1331 \text{ u}$$

$$b) \quad \text{Opció A) Passeu u a kg i apliqueu la fórmula } E = \Delta m \cdot c^2$$

$$\text{Opció B) Recordeu que } 1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}$$

$$0,1331 \text{ u} \cdot \frac{931,5 \text{ MeV}}{1 \text{ u}} = 123,98 \text{ MeV}$$

$$c) \quad E/\text{nucleó} = 123,98 \text{ MeV}/16 = 7,75 \text{ MeV}$$

## 10.5. Llei de la desintegració radioactiva

Quan un nucli atòmic emet radiació alfa, beta o gamma, el nucli canvia d'estat (excitat a fonamental) o es transforma en un altre de diferent. En aquest darrer cas es diu que ha tingut lloc una desintegració radioactiva.

### Com podem saber els nuclis que queden sense desintegrar?

$N_0$  = nuclis atòmics inicials

$N$  = nuclis atòmics que queden sense desintegrar en un moment donat

**Exemple inventat.** Tinc 8 nuclis radioactius, al cap de 2 segons, s'han desintegrat 3, per tant tinc encara 5 nuclis radioactius.

**$N_0 = 8$  nuclis atòmics**

**$N = 5$  nuclis atòmics**

### Llei de la desintegració radioactiva

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

El signe menys indica que el nombre de nuclis disminueix amb el temps

$N_0$  = nuclis atòmics inicials

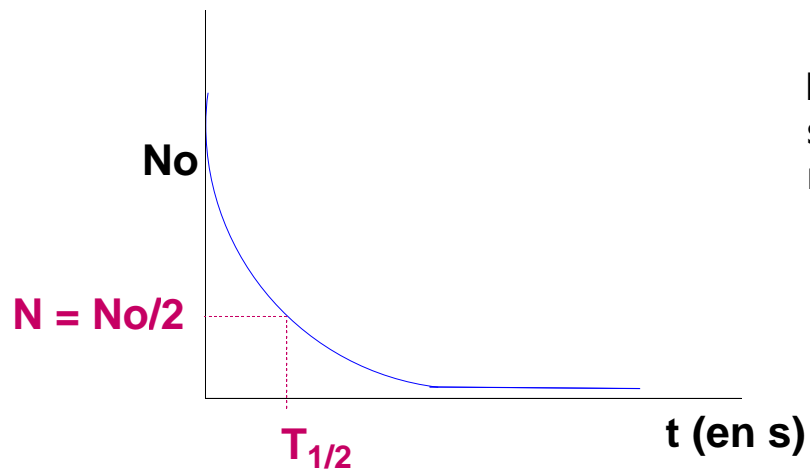
$N$  = nuclis atòmics sense desintegrar

$\lambda$  = constant radioactiva, característica de cada isòtop (de cada àtom) es mesura en  $s^{-1}$ .

$t$  = temps en s



N (nuclis sense desintegrar)



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

El procés de desintegració és aleatori, no sempre es desintegren el mateix nombre de nuclis atòmics en el mateix interval de temps.

### **Període de semidesintegració o semivida ( $T_{1/2}$ )**

El temps que tarda una mostra radioactiva a reduir-se la meitat (és a dir que quedin la meitat dels nuclis radioactius).

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

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T}$$

$$\frac{N_0}{2N_0} = e^{-\lambda T}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda T}$$

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{e^{\lambda T}}$$

$$e^{\lambda T} = 2$$

$$\ln e^{\lambda T} = \ln 2$$

$$\lambda T \ln e = \ln 2$$

$$\lambda T = \ln 2$$

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

### **MATEMÀTIQUES, RECORDEU??**

$$2^{-3} = \frac{1}{2^3}$$

$$\ln 2^x = x \ln 2$$

A l'igual que l'oposat de la multiplicació és la divisió.

Per treure exponents, hem d'aplicar logaritmes. Si la funció és en base e, serà logaritme neperià (ln)

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

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Altres conceptes útils:

- Vida mitjana ( $\tau$ , en s), és la inversa de la constant de desintegració radioactiva.

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

- Activitat o velocitat de desintegració ( $A$ , en  $s^{-1}$  o Bq, becquerel), el nombre de desintegracions que es produeixen segon.

$$A = N \lambda$$

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ desintegració/s} = 1 \text{ s}^{-1}$$

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

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

Una altra unitat per mesurar l'activitat és curie (Ci)

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq o s}^{-1}$$

**Exercici 3 pàg. 299** El nombre de nuclis d'una mostra radioactiva es redueix a set vuitenes parts del seu valor inicial en 1,54 dies. Troba:

- a) La constant radioactiva (en  $s^{-1}$ )  
 b) El període de semidesintegració

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

$$\frac{7 N_0}{8} = N_0 e^{-\lambda \cdot 1,54 \text{ dies}}$$

$$\frac{7 N_0}{8 N_0} = e^{-\lambda \cdot 1,54 \text{ dies}}$$

$$\ln \frac{7}{8} = \ln e^{-\lambda \cdot 1,54 \text{ dies}}$$

$$\ln \frac{7}{8} = -\lambda \cdot 1,54 \text{ dies} \cdot \ln e$$

$$\ln \frac{7}{8} = -\lambda \cdot 1,54 \text{ dies}$$

$$\lambda = - \frac{\ln \frac{7}{8}}{1,54 \text{ dies}} = 0,087 \text{ dies}^{-1} \cdot \frac{0,087}{\text{dia}} \cdot \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

b)  $T = \frac{\ln 2}{\lambda}$

$$T = \frac{\ln 2}{0,087 \text{ dies}^{-1}} = 8 \text{ dies}$$

**Exercici.** El període de semidesintegració de l'isòtop  $^{235}\text{U}$  és  $7 \cdot 10^8$  anys. Calculeu per una mostra d' 1 g:

- L'activitat de la mostra en becquerels ( $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$ ).
- L'activitat de la mostra quan han passat 10 000 anys.

$$a) \quad T = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad \lambda = \frac{\ln 2}{7 \cdot 10^8 \text{ anys}} = 9,9 \cdot 10^{-10} \text{ anys}^{-1} = 3,14 \cdot 10^{-17} \text{ s}^{-1}$$

$$A_0 = \lambda N_0$$

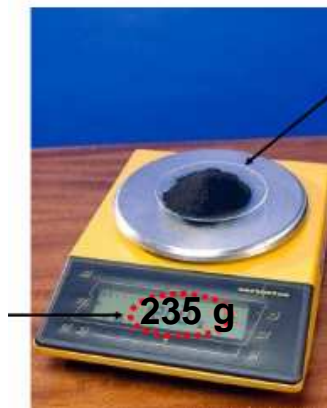
Falta saber els nuclis atòmics que hi ha en la mostra inicial d'urani (és a dir, en 1 g de mostra quants nuclis atòmics hi ha?)

$$1 \text{ g} \cdot \frac{1 \text{ mol}}{235 \text{ g}} \cdot \frac{6,02 \cdot 10^{23} \text{ àtoms}}{1 \text{ mol}} \cdot \frac{1 \text{ nucli}}{1 \text{ àtom}} = 2,56 \cdot 10^{21} \text{ nuclis}$$

La massa molar (en grams) coincideix en número amb la massa atòmica  $A_r(^{235}\text{U}) = 235,0439 \text{ u}$ , i si no ens la donen agafem el nombre màssic.

Què passa si fem 1 mol d'àtoms d'urani sobre una balança?

La balança indica 235 g



$6,02 \cdot 10^{23}$  àtoms d'urani = 1 mol

La massa en g d'1 mol coincideix en número amb la massa d'un àtom expressada en u.

$$A_0 = \lambda N_0$$

$$A_0 = 3,14 \cdot 10^{-17} \text{ s}^{-1} \cdot 2,56 \cdot 10^{21} \text{ nuclis} = 8,05 \cdot 10^4 \text{ s}^{-1} \text{ o Bq}$$

b) A(10 000 anys)?

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad 10000 \text{ anys} \cdot \frac{365 \text{ d}}{1 \text{ any}} \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ dia}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 3,1536 \cdot 10^{11} \text{ s}$$

$$A = 8,05 \cdot 10^4 \text{ s}^{-1} e^{-3,14 \cdot 10^{-17} \text{ s}^{-1} \cdot 3,1536 \cdot 10^{11} \text{ s}} = 8,05 \cdot 10^4 \text{ s}^{-1} \text{ o Bq}$$

L'activitat inicial, i l'activitat al cap de 10 000 anys, és la mateixa, un resultat que podem esperar ja que la el període de semidesintegració és molt gran. Pràcticament al cap de 10 000 anys tindrà la mateixa quantitat de nuclis que tenia inicialment.

Altra opció, per resoldre el problema, és trobar els nuclis que hi ha sense desintegrar al cap de 10 000 anys i després aplicar la fórmula d'activitat.

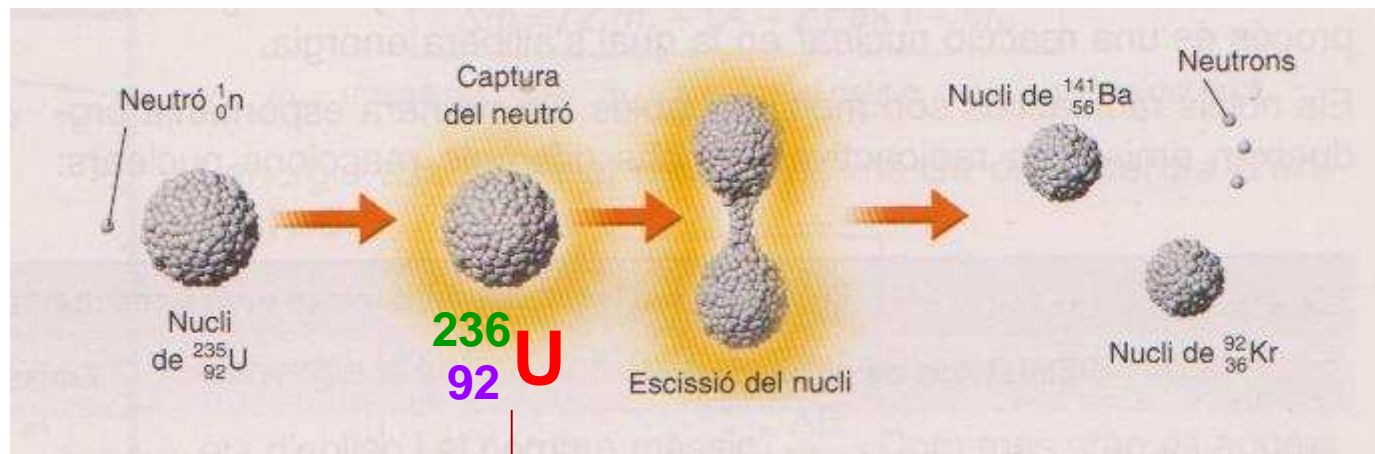
$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad A = \lambda N$$

## 10.6. Fissió i fusió nuclear

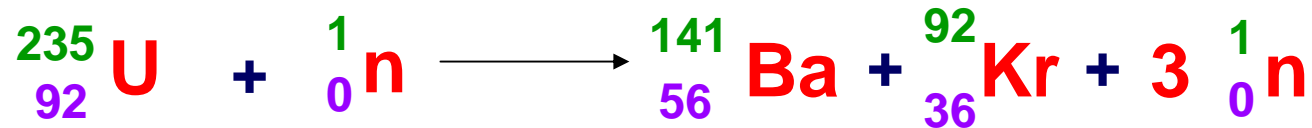
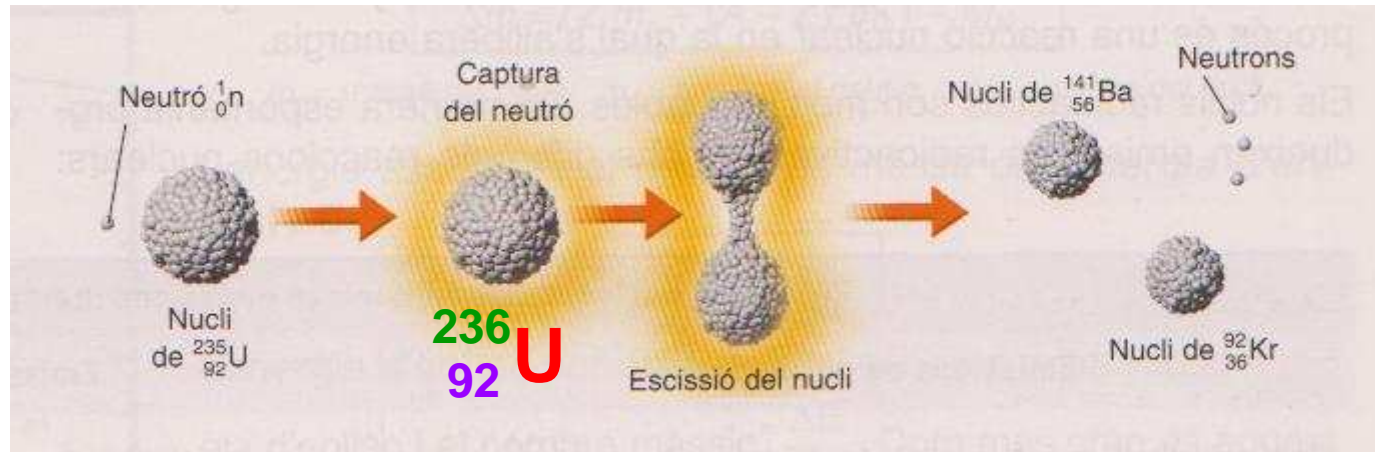
### Fissió nuclear

És el procés en el qual un nucli pesat es trenca en dos nuclis més lleugers en ser bombardejat amb neutrons. En el procés s'alliberen més neutrons (que poden bombardejar més nuclis pesats) i una gran quantitat d'energia. Per tal d'iniciar el procés cal una energia d'activació, que s'obté de la captura d'un neutró pel nucli.

Aquest tipus de reaccions proporciona molta quantitat d'energia que es pot convertir en energia elèctrica CENTRALS NUCLEARS. Malauradament aquesta energia també pot ser utilitzada per aplicacions d'armament, com la BOMBA NUCLEAR (Les bombes que van caure en Nagasaki i Hiroshima, el 6 i el 9 d'Agost de 1945, respectivament).



Nucli inestable, que es trenca en dos nuclis més lleugers

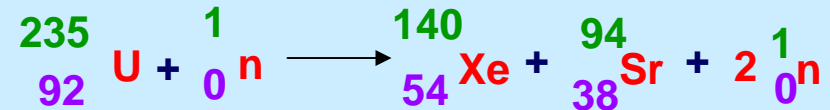
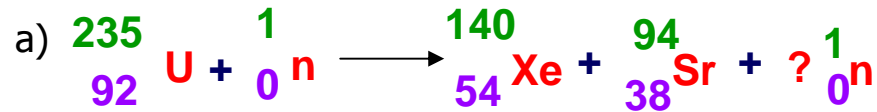


Els productes tenen menys massa que els reactius, per tant hi ha un defecte de massa, que correspon a l'energia alliberada en la reacció.

La reacció nuclear de fissió, és una reacció en cadena, ja que allibera neutrons, que poden fissionar altres nuclis d'urani-235. Per tal de controlar la reacció, en el reactor s'introdueix un material que absorbeix l'excés de neutrons i evita que la reacció prossegueixi de manera explosiva.

Exercici 49 pàg. 313. Un nucli d'urani-235 pot experimentar una fissió quan es bombardeja amb un neutró i formar xenó-140 i estronci-94.

- Escriu la reacció nuclear que hi té lloc i determina el nombre de neutrons alliberats en el procés.
- Calcula l'energia alliberada en la fissió d'1 kg d'urani si s'alliberen 210 MeV per nucli.
- La quantitat d'urani que consumeix en un dia una central nuclear de 700 MW de potència.



$$\text{b) } 1000 \text{ g} \cdot \frac{1 \text{ mol}}{235 \text{ g}} \cdot \frac{6,02 \cdot 10^{23} \text{ àtoms}}{1 \text{ mol}} \cdot \frac{1 \text{ nucli}}{1 \text{ àtom}} \cdot \frac{210 \text{ MeV}}{1 \text{ nucli}} = 5,38 \cdot 10^{26} \text{ MeV}$$

La massa molar (en grams) coincideix en número amb la massa atòmica  $A_r({}^{235}\text{U}) = 235,025 \text{ u}$ , i si no ens la donen agafem el nombre màssic.

$$\text{c) } P = \frac{\text{Energia}}{\text{temps}}$$

$$\text{Energia} = 700 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot 86400 \text{ s} = 6,05 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

$$6,05 \cdot 10^{13} \text{ J} \cdot \frac{1 \text{ eV}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}} \cdot \frac{1 \text{ MeV}}{10^6 \text{ eV}} = 3,8 \cdot 10^{26} \text{ MeV}$$

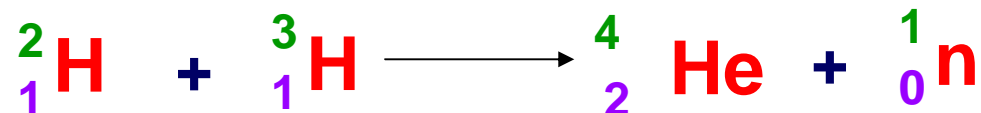
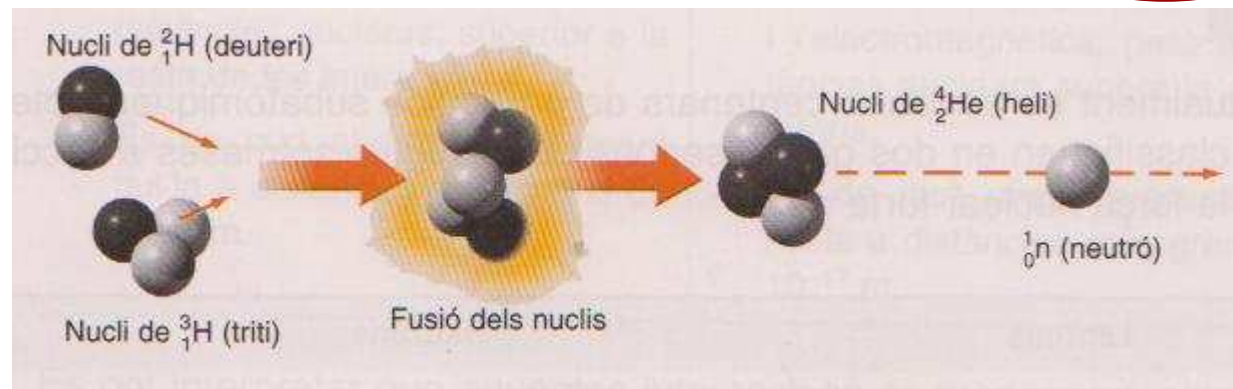
$$3,8 \cdot 10^{26} \text{ MeV} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{5,38 \cdot 10^{26} \text{ MeV}} = 0,7 \text{ kg d'urani-235}$$



## Fusió nuclear

És el procés invers a la fissió nuclear. Consisteix a fer col·lidir (unir) dos nuclis lleugers per tal de formar-ne un altre de més pesant. Com que la massa del nucli final és més petita que la massa total dels nuclis inicials, el defecte de masses es transforma en una gran quantitat d'energia.

Tal com succeix en la fissió, per tal d'iniciar el procés de fusió cal una energia d'activació. L'energia és proporcionada per la pròpia energia tèrmica (temperatures altes, superior a  $10^6$  K). Per això la fusió només té lloc de forma natural als estels i al Sol, on l'elevada temperatura fa que es produeixin les reaccions de fusió entre els àtoms d'hidrogen (hidrogen, deuteri i triti).

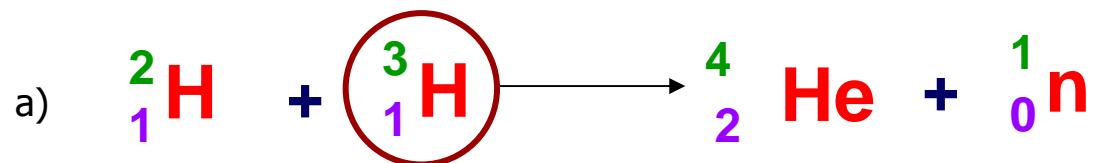


La fusió controlada no s'ha aconseguit portar-la experimentalment a terme, degut a les altes temperatures que es necessiten, i de moment no hi ha cap material capaç de superar aquestes temperatures tant altes.

Exercici 26, pàg. 311. En la següent reacció nuclear desconeixem un dels isòtops inicials.



- a) Determina l'isòtop que falta i digues de quin tipus de reacció nuclear es tracta.  
 b) Calcula l'energia alliberada en la formació de 3 kg del producte final.



L'isòtop és triti. Es tracta d'una reacció nuclear de fusió.

b) 
$$3000 \text{ g} \cdot \frac{1 \text{ mol}}{4 \text{ g}} \cdot \frac{6,02 \cdot 10^{23} \text{ àtoms}}{1 \text{ mol}} \cdot \frac{1 \text{ nucli}}{1 \text{ àtom}} \cdot \frac{17,59 \text{ MeV}}{1 \text{ nucli}} = 7,94 \cdot 10^{27} \text{ MeV}$$



La massa molar (en grams) coincideix en número amb la massa atòmica  $\text{Ar}({}^4\text{He}) = 4,0026 \text{ u}$ , i si no ens la donen agafem el nombre màssic.

## 10.7. Aplicacions de la radioactivitat

### **En medicina,**

Contra el càncer (radioterapia), l'estudi d'òrgans, en l'esterilització de material quirúrgic, en el control de la glàndula tiroide.

El iode és un nutrient necessari per al nostre cos, i s'obté per consum de sals iodades i de menjars marins. La glàndula tiroide, situada al coll, és la responsable de la distribució del iode pel cos. Per avaluar el funcionament de la tiroide, el pacient beu una quantitat de iodur de sodi radioactiu. Al cap de dues hores, es detecta la quantitat de iode a la glàndula tiroide mesurant la intensitat de radiació a l'àrea del coll.

### **En la indústria,**

En el control de qualitat de materials (per examinar planxes d'hacer, soldadures i construccions)

### **En l'agricultura,**

Per investigar com actua un fertilitzant determinat.

### **En les centrals nuclears,**

Per la producció d'energia elèctrica.

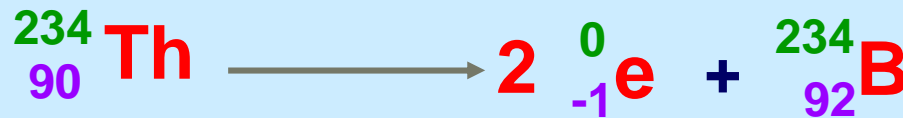
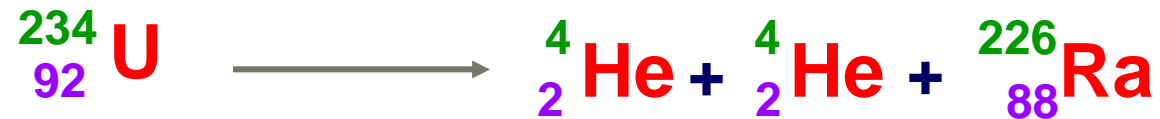
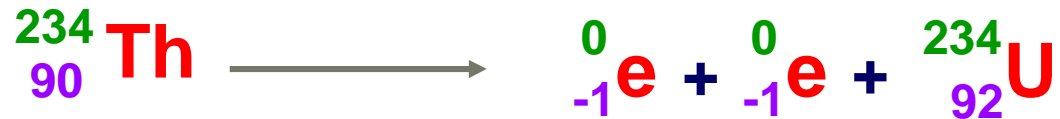
### **En geologia,**

En la datació de fòssils, a través del carboni-14.

Exercici 42 pàg. 312. El tori 234 es desintegra emetent dues partícules beta seguides de dues partícules alfa.

- a) ESCRIU LES REACCIONS NUCLEARS QUE HI TENEN LLOC.  
 b) DETERMINA L'ISÒTOP RESULTANT.

a)



b)

Exercici 43 pàg. 312. Si sabem que en la següent reacció nuclear:



s'alliberen 2,71 MeV per àtom de carboni 12, determina la massa atòmica del carboni-13.  
(Masses atòmiques: carboni-12: 12 u; hidrogen: 1,0078 u; deuteri: 2,0141 u)

$$E = \Delta m \cdot c^2 \quad 2,71 \text{ MeV} \cdot \frac{10^6 \text{ eV}}{1 \text{ MeV}} \cdot \frac{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} = 4,34 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$\Delta m = \frac{4,34 \cdot 10^{-13} \text{ J}}{(3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2} = 4,8238 \cdot 10^{-30} \text{ kg} \quad 4,8238 \cdot 10^{-30} \text{ kg} \cdot \frac{1 \text{ u}}{1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}} = 0,0029 \text{ u}$$

$$\Delta m = (m_{\text{carboni-12}} + m_{\text{deuteri}}) - (m_{\text{carboni-13}} + m_{\text{hidrogen}})$$

$$0,0029 \text{ u} = (12 + 2,0141) - (m_{\text{carboni-13}} + 1,0078 \text{ u})$$

$$M_{\text{carboni-13}} = 12 + 2,0151 - 1,0078 - 0,0029 = 13,0044 \text{ u}$$