

Tema 8 FÍSICA NUCLEAR

1. Propietats del fenomen de radioactivitat:

- Es produeix en alguns tipus d'àtoms, els isòtops radioactius.
- L'emissió de radiació és espontània (no requereix aport energètic extern), persistent i contínua.
- La radiació emesa és composta (radiació α , β , i γ).
- El procés d'emissió és estadístic i el seu ritme no depèn de les interaccions atòmiques de l'isòtop.
- L'emissió de radiació origina que l'isòtop d'on procedeix es desintegre en un altre isòtop distint (teoria de la transmutació) que pot ser radioactiu o estable. La radioactivitat es relaciona amb l'origen de la física nuclear a l'utilitzar la radiació α emesa per mostres radioactives, per a descobrir el nucli (experiment de *Rutherford*) i per demostrar-se, posteriorment, que estes suposades "radiacions" procedeixen de l'interior del nucli. L'emissió radioactiva només depèn del tipus de nucli i no de les interaccions a nivell atòmic, originades per la distribució electrònica. Al ser un fenomen estadístic se incrementa amb la quantitat de nuclis radioactius.

2.

Radiació / Propietat	Comportament elèctric	Poder de penetració	Naturalesa
Alfa (α)	Partícules amb càrrega relativa + 2, respecte a la càrrega fonamental, i molt pesades, que es desvien per l'acció de camps elèctrics i magnètics.	Poc penetrants; recorren distàncies curtes al travessar la matèria com a conseqüència del seu gran poder ionitzant.	Nuclis d'heli.
Beta (β)	Partícules amb càrrega relativa -1, amb molt poca massa i amb elevada velocitat; per això interaccionen amb camps magnètics o elèctrics fent que se desvien considerablement de la seua trajectòria.	Més penetrants que les partícules α	Electrons amb elevada velocitat.
Gamma (γ)	Sense càrrega ni massa en repòs.	Molt penetrants.	Radiació d'elevada freqüència.

3. Aquestos àtoms tenen idèntica estructura electrònica, que determina el comportament químic, i distint tipus de nucli, com a conseqüència de les seues partícules integrants. A l'establir que el nucli està compost per protons i neutrons es va deduir que ja que el nombre de protons és el mateix que el d'electrons (caràcter neutre dels àtoms), els nuclis isotòpics difereixen en la quantitat de neutrons del nucli.

4. Un element químic pot tindre diversos isòtops i a cada isòtop li correspon un núclid o nucleid, o classe de nucli. L'abundància isotòpica indica el tipus i el percentatge de cada isòtop d'un element químic i, en conseqüència, els nucleids que ho componen. Els àtoms isotòpics estan formats per un nucli, el seu nucleid, i una estructura electrònica que determina el seu comportament químic.

5. Per definició $1 \text{ u.m.a.} = \frac{1}{12}$ massa d'un àtom de carboni $^{12}_6\text{C}$

Per això, calculem la massa d'un àtom de $^{12}_6\text{C}$: sabem que un mol d'àtoms de $^{12}_6\text{C}$ tenen una massa de 12 g per tant

$$\text{massa } ^{12}_6\text{C} = \frac{12 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ àtoms/mol}} = 1,992 \cdot 10^{-26} \text{ kg/àtom}$$

$$1 \text{ u.m.a.} = \frac{1}{12} \cdot 1,992 \cdot 10^{-26} = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

6. $m_N = (99 \ 64 \ 14,003074 + 0 \ 36 \ 15,000109) : 100 = 14 \ 006663 \text{ uma}$

7. Donat que $R = R_0 A^{1/3}$ i que El volum del nucli considerat una esfera ($V = 4/3 \cdot R^3 = 4/3 \cdot R_0^3 \cdot A$) i ja que la massa del protó és aproximadament igual a la massa del neutró, $m_n \approx m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$, la densitat del nucli serà:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} A}{4/3 \cdot \pi (1,2 \cdot 10^{-15})^3 A} = 2,3 \cdot 10^{17} \text{ Kg/m}^3$$

8. $\Delta m = 0,030377 \text{ u.}$; $E_b = 0,030377 \text{ u} \cdot 931,47 \text{ MeV/u} = 28,30 \text{ MeV.}$

9. $^{60}_{28}\text{Ni}$ fracció d'enllaç $f = 8,78 \text{ MeV/núcleó}$; $^{62}_{28}\text{Ni}$ fracció d'enllaç $f = 8,794 \text{ MeV/núcleó}$
 $^{58}_{26}\text{Fe}$ fracció d'enllaç $f = 8,792 \text{ MeV/núcleó}$; $^{60}_{26}\text{Fe}$ fracció d'enllaç $f = 8,76 \text{ MeV/núcleó}$

10. Un model de nucli constituït per partícules α i β no pot explicar la composició del nucli més simple, el de hidrogen, la massa del qual és la quarta part de la d'una partícula α . D'altra banda, es va comprovar que la massa de qualsevol isòtop era, aproximadament, múltiple de la de l'àtom de hidrogen. Per això, es va proposar un model inicial en què els nuclis estaven constituïts per protons i electrons. De ací el nom que va rebre la partícula, del grec "protos" primer. No obstant, aquest model no aconseguia justificar la estabilitat nuclear. La composició nuclear va poder verificar-se al desintegrar el nucli, per mitjà de reaccions nuclears, i comprovar que està compost per protons i neutrons.

11. En qualsevol reacció nuclear s'han de complir 2 principis de conservació el de la càrrega i el de la massa per tant

a) $^{32}_{15}\text{P} \Rightarrow ^A_Z\text{X} + ^0_{-1}\text{e} + ^0_0\bar{\nu}_e$ per tant $32 = A + 0 + 0$; $A = 32$ i $15 = Z - 1 + 0$; $Z = 16$ sol: $^{32}_{16}\text{S}$

b) $^{222}_{86}\text{Rn} \Rightarrow ^A_Z\text{X} + ^4_2\alpha$ sol: $^{218}_{84}\text{Po}$

c) $^{232}_{90}\text{Th} \Rightarrow ^A_Z\text{X} + ^4_2\alpha$; $^A_Z\text{X} \Rightarrow ^A_Z\text{X} + \gamma$ sol: $^{228}_{88}\text{Ra}$; $\gamma = \gamma$

d) $^{40}_{19}\text{K} \Rightarrow ^A_Z\text{X} + ^0_{-1}\text{e} + ^0_0\bar{\nu}_e$ sol: $^{40}_{20}\text{Ca}$

e) $^{40}_{19}\text{K} + ^0_{-1}\text{e} \Rightarrow ^A_Z\text{X} + \text{RX}$ sol: $^{40}_{18}\text{Ar}$

12. ^{211}Bi $\lambda = 2,38 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$; ^{220}Rn $\lambda = 1,266 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$; ^{222}Rn $\lambda = 2,08 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

a) Quant major és el valor de la constant de desintegració el ritme de desintegracions de l'isòtop, activitat, és major.

b) No tots els elements tenen isòtops radioactius.

c) Sí, ja que la constant depèn de l'isòtop radioactiu i un element pot tindre més d'un isòtop radioactiu.

d) De l'isòtop radioactiu de què es tracte.

13. Primer calculem el nombre de nucleïds radioactius que hi ha en 1g de mostra

$$N = 1\text{g} \cdot \frac{6,022 \cdot 10^{23} \text{ àtoms/mol}}{54\text{g/mol}} = 1,115 \cdot 10^{22} \text{ àtoms de } ^{54}\text{Mn} = 1,115 \cdot 10^{22} \text{ nuclis de } ^{54}\text{Mn}$$

$$\text{Després s'expressa la constant en U.I. } \lambda = 2,48 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{dia}} \cdot \frac{1 \text{ dia}}{86400\text{s}} = 2,87 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}$$

$$A = \lambda \cdot N = 3,2 \cdot 10^{14} \text{ Bq} \cdot \frac{1\text{Ci}}{3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}} = 8650 \text{ Ci}$$

14. Càlcul de la constant radioactiva de ^{226}Ra a partir del concepte de període de semidesintegració:

$$T = \frac{\text{Ln}2}{\lambda}; \quad \lambda = \frac{\text{Ln}2}{T} = 1,374 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}$$

Determinació del nombre de nuclis presents en 1 g de ^{226}Ra :

$$N_0 = 1\text{g} \cdot \frac{6,022 \cdot 10^{23} \text{ àtoms/mol}}{226\text{g/mol}} = 2,66 \cdot 10^{21} \text{ àtoms de } ^{226}\text{Ra} = 2,66 \cdot 10^{21} \text{ nuclis de } ^{226}\text{Ra}$$

Càlcul de l'activitat inicial:

$$A_0 = \lambda \cdot N_0 = 1,374 \cdot 10^{-11} \cdot 2,66 \cdot 10^{21} \text{ nuclis de } ^{226}\text{Ra} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq} = 1 \text{ Ci}$$

Per a calcular les variacions de la massa de la mostra apliquem la llei radioactiva:

$$m = m_0 \cdot e^{-\lambda \Delta t}$$

Si $\Delta t = 1$ setmana = 7 dies = $6,048 \cdot 10^5$ s; $m = 0,99999\text{g}$

Si $\Delta t = 1$ mes = 30 dies = $2,592 \cdot 10^6$ s; $m = 0,99996\text{g}$

Per a calcular el temps que ha de transcórrer per a reduir la massa a $m_0/10$ apliquem les condicions:

$$0,1m_0 = m_0 \cdot e^{-\lambda \Delta t}$$

$$\Delta t = \frac{-\text{Ln}0,1}{1,34 \cdot 10^{-11}} = 1,676 \cdot 10^{11} \text{ s} = 5314,56 \text{ anys}$$

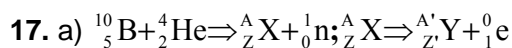
El temps que deu transcórrer per a reduir l'activitat inicial de la mostra a la meitat és de 1600 anys, per la definició del període de semidesintegració.

15.

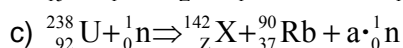
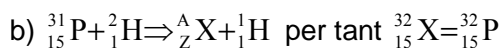
$$T = \frac{\text{Ln}2}{\lambda}; \text{ i com } \tau = \frac{1}{\lambda}; \text{ per tant } T = \tau \cdot \text{Ln}2$$

16. En primer lloc determinem la fracció de nuclis sense desintegrar, aplicant la llei de desintegració:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \Delta t}; \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda \Delta t} = e^{-\frac{\ln 2}{T} \Delta t} \text{ per tant si substituïm els valors tindrem } \frac{N}{N_0} = e^{-\frac{\ln 2}{1600} 100} = 0,958 \text{ o siga el } 95,8\% \text{ de nucleïds sense desintegrar o el } 4,2\% \text{ desintegrats}$$



donat que es te que conservar el nombre de nucleons i la càrrega ${}_{7}^{13}\text{X} = {}_{7}^{13}\text{N}$ i ${}_{6}^{13}\text{Y} = {}_{6}^{13}\text{C}$



$$\text{equacions (Z)} \quad 92+0 = Z+37 + = \text{ per tant } Z = 92-37 = 55$$

$$\text{equacions (A)} \quad 238 + 1 = 142 + 90 + a \cdot 1 \text{ per tant } a = 7$$

21. Primer cal calcular el mols que hi ha en 13,6 kg de metà.

$$13600\text{g} \cdot \frac{1\text{mol}}{58\text{g}} = 234,48 \text{ mol de } \text{CH}_4$$

Ara calculem l'energia que intervé en el procés.

$$234,48 \text{ mol de } \text{CH}_4 \cdot \frac{2876\text{kJ}}{1\text{mol}} = 6,74 \cdot 10^5 \text{ J}$$

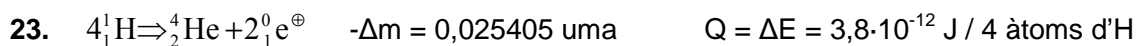
Calculem la quantitat de nuclis ${}^{235}\text{U}$ que hi han en 13,6 kg d' ${}^{235}\text{U}$

$$13600 \text{ g} \cdot \frac{6,022 \cdot 10^{23} \text{ àtoms/mol}}{235\text{g/mol}} = 3,5 \cdot 10^{25} \text{ nuclis d'urani}$$

Ara calculem l'energia que intervé en el procés.

$$3,5 \cdot 10^{25} \text{ nuclis d'urani} \cdot \frac{200 \cdot 10^6 \text{ eV}}{1\text{nucli}} \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1\text{eV}} = 1,115 \cdot 10^{15} \text{ J}$$

$$\frac{\Delta E_{\text{URANI}}}{\Delta E_{\text{METÀ}}} = 5,4 \cdot 10^6$$



24. La comparació d'ambdós processos pot resumir-se en la següent taula.

Procés	FISSIÓ	FUSIÓ	COMPARACIÓ
Fonament	Escissió de nuclis fissionables en altres de massa intermèdia alliberant neutrons i energia	Aproximació de nuclis lleugers per a obtindre un nucli més estable i energia	La fissió consisteix a trencar nuclis pesats, mentre que en la fusió s'uneixen nuclis lleugers
Matèria primera	Nuclis de ^{235}U i nuclis fèrtils que puguen originar nuclis fissionables	Isòtops de l'hidrogen	La matèria primera necessària per a la fissió és escassa en comparació a la de fusió, hidrogen
Rendiment	En els reactors nuclears es genera gran quantitat d'energia de forma contínua i controlada	El rendiment teòric de l'energia alliberada en la fusió és superior al de fissió. Però encara no poden desenvolupar-se reaccions de fusió controlades	La fusió posseeix un major rendiment teòric que la fissió, però no existeixen reactors de fusió operatius
Nivell tecnològic	La fissió es desenvolupa en reaccions en cadena controlades en els reactors nuclears	S'estudien diverses possibilitats per al seu desenvolupament però encara no es controlen	Els processos de fissió són operatius i els de fusió encara no
Residus	Restes radioactives de baixa i alta activitat que requereixen processos de manipulació i aïllament especials	Teòricament es considera que s'originen residus radioactius d'escassa activitat i innocus abans d'un segle	La fissió dona lloc a importants problemes de generació de residus radioactius mentre que en la fusió se originen residus d'escassa intensitat