

Física nuclear.

1.

El radó 222, de símbol Rn, és un gas noble responsable de bona part de l'exposició de les persones a les radiacions ionitzants. El ^{222}Rn es forma al subsòl a partir del radi (Ra) i a causa del seu estat gasós es difon cap a l'atmosfera.

- a) Quan el ^{222}Rn es desintegra emet partícules α . Escriviu l'equació nuclear d'aquest procés de desintegració.
- b) A més de la radiació α , durant el procés de desintegració també s'emeten raigs γ (no cal que els inclogueu en l'equació de l'apartat anterior). Calculeu la freqüència i la longitud d'ona d'un fotó γ d'energia 5,50 MeV.

DADES: Nombres atòmics: Bi, 83; Po, 84; At, 85; Rn, 86; Fr, 87; Ra, 88; Ac, 89.

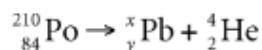
$$1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{Constant de Planck, } h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

$$\text{Velocitat de la llum, } c = 3,00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

2.

El poloni 210 té un període de semidesintegració de 138,4 dies i es desintegra, per emissió de partícules alfa, en un isòtop estable del plom. El procés és el següent:



- a) Determineu els índexs x i y i el temps necessari perquè la massa del poloni es redueixi al 30 % de la massa inicial.
- b) Calculeu l'energia que es desprèn en la desintegració d'un nucli de poloni, expressada en J i en MeV.

$$\text{DADES: } m(^{210}_{84}\text{Po}) = 209,983 \text{ u;}$$

$$m(^x_y\text{Pb}) = 205,974 \text{ u;}$$

$$m(^4_2\text{He}) = 4,003 \text{ u;}$$

$$1 \text{ u} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg;}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J;}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s.}$$

3.

El període de semidesintegració de l'isòtop ^{235}U és de $7,00 \times 10^8$ anys. Per a una mostra d'1,000 g, calculeu:

- a) L'activitat inicial en becquerels (Bq).
- b) La massa de ^{235}U quan hagin passat 10^8 anys.

$$\text{DADES: Nombre d'Avogadro, } N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ nuclis} \cdot \text{mol}^{-1}$$

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

$$\text{Massa molar de } ^{235}\text{U}, M = 235 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

4.

El potassi 40 (^{40}K) és un isòtop inestable. Es pot transformar en calci (Ca) mitjançant una desintegració β^- o en argó (Ar) mitjançant una desintegració β^+ . El nombre atòmic del calci és 20.

- Escriuiu les equacions nuclears que corresponen a aquests processos, incloent-hi els neutrins i els antineutrins.
- També és possible que el potassi 40 capturi un electró de la seva escorça i emeti un fotó gamma de 1 460 MeV. Calculeu la longitud d'ona i la freqüència d'aquests raigs gamma. Calculeu també la disminució de la massa de l'àtom de potassi 40 deguda a l'energia que s'endú el fotó.

DADES: Constant de Planck, $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J s}$.
 $|e| = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.
 Velocitat de la llum, $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$.
 $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$.

5.

El iode pot ser un radiofàrmac. L'isòtop $^{131}_{53}\text{I}$ és una font de raigs gamma. S'injecta al pacient per poder obtenir imatges gammagràfiques. Aquest radioisòtop té un període de semidesintegració de 13,2 h.

- Quina fracció de $^{131}_{53}\text{I}$ resta al cos 24,0 hores després d'injectar el fàrmac?
- En un altre procés, el $^{131}_{53}\text{I}$ també pot produir $^{131}_{54}\text{Xe}$. Escriuiu l'esquema del procés nuclear. Quina partícula s'emet?

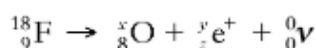


Exemple de gammagrafia

6.

La tècnica de diagnòstic a partir de la imatge que s'obté mitjançant tomografia per emissió de positrons (PET, *positron emission tomography*) es fonamenta en l'anihilació entre la matèria i l'antimatèria. Els positrons, emesos pels nuclis de fluor, ^{18}F , injectats al pacient com a radiofàrmac, s'anihilen en entrar en contacte amb els electrons dels teixits del cos i de cadascuna d'aquestes anihilacions es creen fotons, a partir dels quals s'obté la imatge.

La desintegració d'un nucli de fluor, ^{18}F , es pot escriure mitjançant la reacció nuclear següent:



- Digueu quants neutrons i quants protons té aquest isòtop artificial de fluor, ^{18}F . Completeu la reacció nuclear, és a dir, determineu x , y i z .
- El període de semidesintegració del ^{18}F és 109,77 s. Calculeu el temps que ha de passar perquè quedi una vuitena part de la quantitat inicial de ^{18}F . Quin percentatge de partícules quedaran al cap d'una hora? Tenint en compte aquest resultat, digueu si podríem emmagatzemar gaire temps aquest radiofàrmac i justifiqueu-ho.

7.

L'any 2013 es va celebrar el centenari del model atòmic proposat per Niels Bohr. Segons aquest model, l'àtom de ^1H té un protó en el nucli i un electró que descriu una òrbita circular estable al seu voltant. El radi mínim que pot tenir aquesta òrbita, segons el model de Bohr, és de $5,29 \times 10^{-11} \text{ m}$. Per a aquesta òrbita calculeu:

- La força elèctrica que actua sobre l'electró i la freqüència de gir que té.
- L'energia mecànica de l'electró en l'òrbita que descriu al voltant del protó. Considereu negligible l'energia potencial gravitatòria.



Niels Bohr

DADES: $k = 8,99 \times 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$

$$Q_{\text{electró}} = -1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

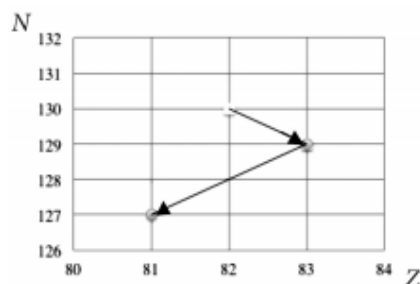
$$m_{\text{electró}} = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$Q_{\text{protó}} = -Q_{\text{electró}}$$

$$m_{\text{protó}} = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

8.

En un nucli atòmic radioactiu s'esdevenen dues desintegracions radioactives successives, representades en la gràfica de la figura. En l'eix de les absisses s'indica el nombre de protons (Z) i en l'eix de les ordenades, el nombre de neutrons (N) dels elements químics que intervenen en el procés.



- Escriviu les equacions de les dues desintegracions radioactives que es produeixen i digueu com s'anomena cadascuna. Indiqueu el nom, el nombre atòmic i el nombre màssic de tots els elements i de totes les partícules que hi intervenen.
- Si inicialment tenim N nuclis del primer element i el seu període de semidesintegració és de 10,64 hores, calculeu el temps que haurà de passar perquè es desintegri un 10,0 % dels nuclis.

DADES: Nombres atòmics d'alguns elements químics: or (Au), 79; mercuri (Hg), 80; talli (Tl), 81; plom (Pb), 82; bismut (Bi), 83; poloni (Po), 84; àstat (At), 85.

9.

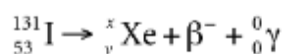
El $^{277}_{112}\text{Cn}$ té un període de semidesintegració de 0,17 ms.

- Completeu la reacció d'obtenció del $^{277}_{112}\text{Cn}$ a partir de plom i de zinc. Quin tant per cent de $^{277}_{112}\text{Cn}$ roman sense desintegrar-se al cap d'un minut d'haver-se produït la reacció d'obtenció d'aquest isòtop?
- Escriviu la seqüència o sèrie radioactiva (amb tots els símbols dels elements) fins a arribar al fermi.

DADES:	$^{82}_{82}\text{Pb}$	$^{110}_{110}\text{Ds}$	$^{108}_{108}\text{Hs}$	$^{106}_{106}\text{Sg}$	$^{104}_{104}\text{Rf}$	$^{102}_{102}\text{No}$	$^{100}_{100}\text{Fm}$	$^{30}_{30}\text{Zn}$
	plom	darmstadt	hassi	seaborgi	rutherfordi	nobeli	fermi	zinc

10.

El iode 131 és un isòtop radioactiu que emet β^- i γ , té un període de semidesintegració de vuit dies i es fa servir per a tractar el càncer i altres malalties de la glàndula tiroide. La reacció de descomposició és la següent:



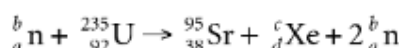
- Determineu el valor dels nombres màssic i atòmic del xenó (x i y en la reacció, respectivament). Si les partícules β^- s'emeten a una velocitat de $2 \times 10^5 \text{ km/s}$, calculeu-ne la longitud d'ona associada.
- Un pacient rep un tractament amb iode 131. Quants dies han de transcórrer perquè la quantitat de iode 131 al cos del pacient es redueixi fins al 12,5 % del valor inicial?

DADES: $m_\beta = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$; $h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J s}$.

11.

L'urani 235 té uns quaranta modes possibles de desintegració per absorció d'un neutró.

- Completeu la reacció nuclear següent, que s'esdevé quan un nucli d'urani 235 absorbeix un neutró:



Indiqueu també quants neutrons i protons té aquest nucli d'urani.

- Calculeu l'energia produïda en la fissió d'un nucli d'urani 235, d'acord amb la reacció anterior.

DADES: $m_{\text{neutró}} = 1,00866 \text{ u}$; $m({}^{235}\text{U}) = 235,124 \text{ u}$;
 $m({}^{95}\text{Sr}) = 94,9194 \text{ u}$; $m({}^{139}\text{Xe}) = 138,919 \text{ u}$;
 $c = 2,99792 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$; $1 \text{ u} = 1,66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

12.

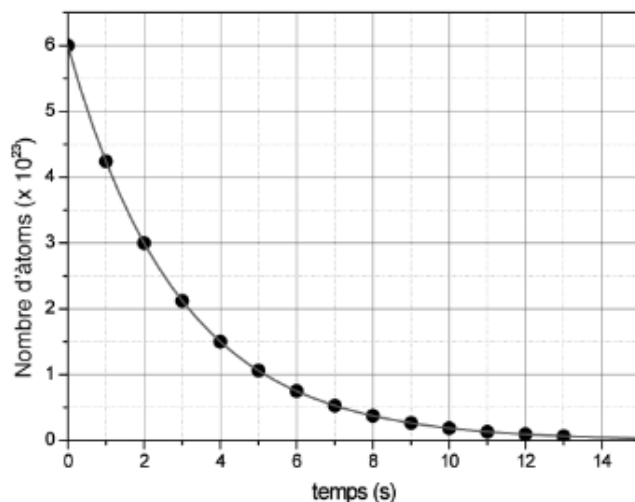
Una gammagrafia òssia és una prova diagnòstica que consisteix a injectar per via intravenosa una substància que conté un cert isòtop radioactiu que es diposita en els ossos i que emet raigs gamma. La radiació emesa es detecta amb una gammacàmera que escaneja el cos i pren imatges de la quantitat de l'isòtop acumulada en els ossos. En aquest tipus de gammagrafies s'utilitza el tecneci 99 com a radioisòtop.

- Quant s'haurà reduït el nombre de nuclis de l'isòtop injectat al cap d'un dia?
- El ${}_{43}^{99}\text{Tc}$ prové de la desintegració beta d'un altre element. Indiqueu el nombre de protons i neutrons del nucli del qual prové.

DADES: $t_{1/2}({}^{99}\text{Tc}) = 6,00 \text{ h}$.

13.

Per estudiar el procés de desintegració d'una mostra radioactiva que inicialment tenia $6,00 \cdot 10^{23}$ àtoms radioactius, hem mesurat en intervals d'un segon el nombre d'àtoms que encara no s'havien desintegrat. Els resultats obtinguts es representen en la gràfica següent:



- Quant val el període de semidesintegració d'aquesta mostra? Quants àtoms de la mostra inicial s'hauran desintegrat quan hagi transcorregut un temps de 15 s?
- Quant temps haurà de transcorrer perquè només quedi sense desintegrar un 5 % de la mostra inicial?

14.

En un jaciment arqueològic es troben unes restes òssies antigues d'animals. Un gram d'aquestes restes conté $9,5 \times 10^8$ àtoms de carboni 14. L'anàlisi d'una mostra actual, de la mateixa massa i de característiques similars, revela que, en el moment de la mort dels animals, els ossos tenien $6,9 \times 10^9$ àtoms de C-14/gram.

- Determineu l'antiguitat de les restes si sabem que el període de semidesintegració del C-14 és de 5760 anys.
- Escriviu l'equació nuclear de la desintegració (amb emissió de β^-) del C-14 i incloeu-hi els antineutrins. Calculeu el defecte de massa per nucleó de C-14.

DADES: $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

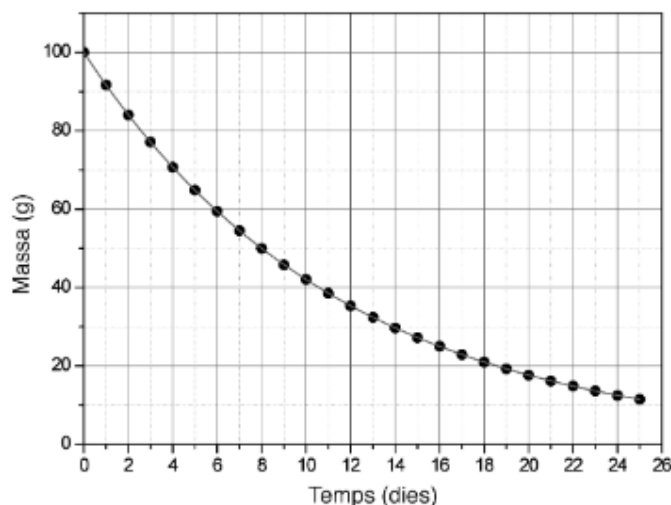
Nombres atòmics: Be, 4; B, 5; C, 6; N, 7; O, 8; F, 9

Masses:

Partícula	Massa (kg)	Partícula	Massa (kg)
protó	$1,6726 \times 10^{-27}$	electró	$9,1093 \times 10^{-31}$
neutró	$1,6749 \times 10^{-27}$	àtom de C-14	$2,3253 \times 10^{-26}$

15.

La gràfica següent mostra la variació de la massa d'una mostra de iode 131, que és un isòtop radioactiu, al llarg del temps.



- Trobeu el període de semidesintegració de l'isòtop i digueu quina quantitat de la mostra tindrem al cap de quaranta dies.
- El iode 131, en desintegrar-se, emet una partícula beta i es transforma en un ió positiu de xenó 131. Calculeu l'energia que s'allibera quan es desintegra un àtom de iode 131.

DADES: $m(\text{I-131}) = 130,906\,125\text{ u}$;
 $m(\text{Xe}^+-131) = 130,904\,533\text{ u}$;
 $m_{\text{electró}} = 5,486 \cdot 10^{-4}\text{ u}$;
 $1\text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$;
 $c = 3,00 \cdot 10^8\text{ m/s}$.

16.

L'any 2006, l'exespia rus del KGB Aleksandr Litvinenko va ser víctima d'un enverinament amb poloni 210 i es va convertir en la primera víctima confirmada que moria per la síndrome de radiació aguda.

El poloni 210 és un emissor de partícules α que es troba a la natura i que també es pot obtenir en laboratoris nuclears.

- Escriuiu la reacció de desintegració del poloni 210, si sabem que en desintegrar-se produeix un isòtop del plom.
- El període de semidesintegració efectiu en el cos humà del poloni 210 és de 37 dies. Si suposem que la dosi que van subministrar a Litvinenko va ser de 5 mg, quina quantitat de poloni 210 hi havia en el seu organisme quan va morir, vint dies després de l'enverinament?

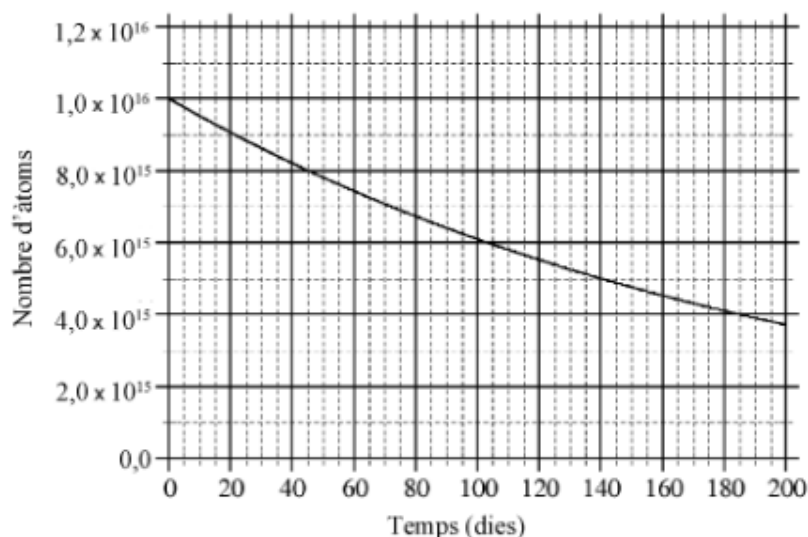


Aleksandr Litvinenko

DADA: Símbols químics i nombres atòmics del poloni $Z(\text{Po}) = 84$ i del plom $Z(\text{Pb}) = 82$

17.

Hem observat una mostra d'un isòtop radioactiu. El gràfic mostra l'evolució del nombre d'àtoms de l'isòtop durant 200 dies.



- Determineu el període de semidesintegració de l'isòtop. Quants àtoms quedaran al cap de tres períodes de semidesintegració?
- Sospitem que es tracta de poloni 210 ($Z=84$), un element emissor de radiació alfa. Escriviu la reacció nuclear de l'emissió alfa d'aquest isòtop.

DADES: Nombres atòmics i símbols d'alguns elements:

80	81	82	83	84	85	86
Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn

18.

La radioactivitat és un mitjà fiable per a calcular l'edat de les roques i minerals que contenen isòtops radioactius concrets. Aquest sistema de datació radiomètrica ens permet mesurar el temps geològic.

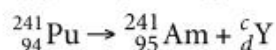
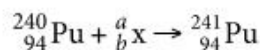
Un d'aquests mètodes es basa en la desintegració de l'isòtop $^{40}_{19}\text{K}$ (potassi) en $^{40}_{18}\text{Ar}$ (argó). El rellotge potassi-argó comença a funcionar quan els minerals que contenen potassi cristallitzen a partir d'un magma o dins una roca. En aquest moment, els nous minerals contenen $^{40}_{19}\text{K}$ i no contenen $^{40}_{18}\text{Ar}$. A mesura que passa el temps, el $^{40}_{19}\text{K}$ es desintegra i tots els àtoms de $^{40}_{18}\text{Ar}$ que trobem en el mineral en un temps posterior a la formació provenen de la descomposició del $^{40}_{19}\text{K}$.

- Escriviu la reacció nuclear de l'emissió de partícules β de l'isòtop $^{40}_{19}\text{K}$.
- En una roca s'han trobat 10,0 g de $^{40}_{19}\text{K}$ i 10,0 g de $^{40}_{18}\text{Ar}$. Quina quantitat de $^{40}_{19}\text{K}$ hi haurà quan hauran transcorregut $5,00 \times 10^9$ anys? Fent servir la datació radiomètrica basada en el potassi-argó, digueu quina edat té la roca. Considereu que el $^{40}_{19}\text{K}$ es desintegra només en $^{40}_{18}\text{Ar}$.

DADA: Període de semidesintegració del $^{40}_{19}\text{K}$, $t_{1/2} = 1,25 \times 10^9$ anys

19.

L'americi (Am) és l'element de nombre atòmic 95. Els primers àtoms d'americi $^{241}_{95}\text{Am}$ van ser produïts el 1944 per Glenn Theodore Seaborg i els seus col·laboradors fent servir un seguit de reaccions nuclears a partir del plutoni (Pu). A continuació, es mostren, incompletes, les dues últimes etapes del procés:



- Determineu els valors dels coeficients a , b , c i d . Quin nom té la partícula que el Pu-240 ha capturat en la primera reacció? Com s'anomena la desintegració descrita en la segona reacció?
- Calculeu el percentatge de nuclis de Am-241 que s'han desintegrat des del 1944 fins ara.



Glenn Theodore Seaborg

DADA: Període de semidesintegració de l'americi 241, $t_{1/2} = 432$ anys

20.

Un dels problemes principals de la producció d'energia elèctrica en les centrals nuclears és l'emmagatzematge dels residus radioactius. El plutoni és un d'aquests residus: té un període de semidesintegració de $6,58 \times 10^3$ anys i és un potent emissor de partícules α .

- Si avui s'emmagatzema una quantitat determinada d'aquest plutoni, quin percentatge d'aquest isòtop quedarà sense desintegrar-se d'aquí a un segle?
- Sabent que les partícules α s'emeten amb una energia cinètica d' $1,00 \times 10^{-13}$ J, calculeu-ne la longitud d'ona de De Broglie associada.

DADES: $h = 6,62 \times 10^{-34}$ J s; $m_\alpha = 6,68 \times 10^{-27}$ kg.

21.

L'any 2011 ha estat declarat Any Internacional de la Química, per commemorar, entre altres fets, que fa cent anys Marie Curie va ser guardonada amb el Premi Nobel de Química pel descobriment del radi, entre altres mèrits. El període de semidesintegració del radi és $1,59 \times 10^3$ anys. Si el 1911 es va guardar una mostra d'1,00 g de radi, calculeu:

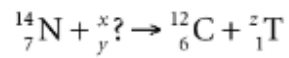
- La quantitat de radi de la mostra que queda actualment.
- L'activitat radioactiva inicial de la mostra d'1,00 g de radi, i l'activitat radioactiva del radi que queda de la mostra avui.

DADES: $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$; $m_a(\text{Ra}) = 226 \text{ u}$.

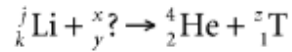
22.

El triti és un isòtop radioactiu de l'hidrogen. El nucli del triti té dos neutrons.

- a) El triti es genera de manera natural a l'atmosfera quan els àtoms de nitrogen xoquen amb una certa partícula que anomenarem «?». La reacció és:



També es pot produir en reactors nuclears, amb la reacció següent:



Determineu els valors dels índexs x , y , z , j i k .

- b) El període de semidesintegració del triti és, aproximadament, de dotze anys. Elaboreu una gràfica amb les variables de massa i temps en què s'observi com varia la quantitat de triti d'una mostra que inicialment és de 120g durant els seixanta anys següents.