

Proves d'accés a la universitat

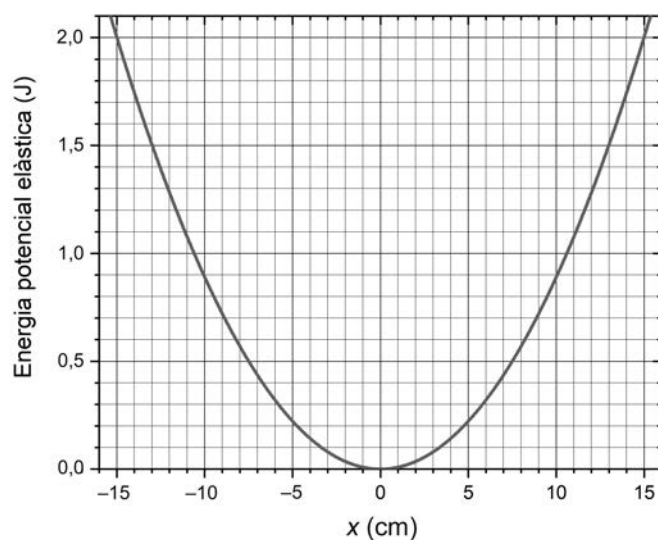
Física

Sèrie 3

Responen a QUATRE dels vuit problemes següents. En el cas que respongueu a més problemes, només es valoraran els quatre primers.

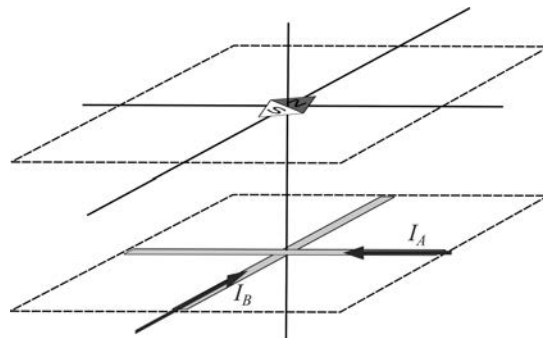
Cada problema val 2,5 punts.

- P1) La gràfica següent ens mostra l'energia potencial elàstica en funció de l'elongació (x) per a un sistema format per una massa unida a una molla horitzontal que compleix la llei de Hooke.



- a) Trobeu el valor de la constant elàstica (o constant de rigidesa) de la molla. Quan fem oscil·lar el sistema, descriu 10 oscil·lacions completes en 6,52 s. Calculeu la massa de l'objecte que està lligat a la molla.
[1,25 punts]
- b) Representeu, sobre el mateix gràfic, l'energia cinètica i l'energia mecànica en funció de l'elongació, x , per a un moviment harmònic simple de 10 cm d'amplitud.
[1,25 punts]

P2) Posem dos cables prims conductors sobre una taula perpendiculars entre si i sense que hi hagi contacte elèctric entre ells. Posteriorment, colloquem un petit imant, una brúixola, a un metre de la taula just per sobre l'encreuament dels dos fils conductors, com indica la figura.



a) Representeu els camps magnètics creats pels fils A i B en el punt on està situada la brúixola. Si pel fil A hi circula un corrent d'intensitat 5 A, quina intensitat ha de circular pel fil B perquè la brúixola quedi orientada paral·lela al fil B?

[1,25 punts]

b) Pel fil A hi passa una intensitat $I_A = 10$ A i la brúixola queda orientada amb un angle de 30° respecte al fil B. Quina intensitat passa pel fil B?

[1,25 punts]

P3) Una de les llunes de Júpiter, Io, descriu una òrbita de radi mitjà $4,22 \times 10^8$ m i de període $1,53 \times 10^5$ s.

a) Calculeu la massa de Júpiter.

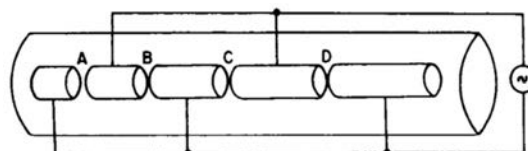
[1,25 punts]

b) Calculeu el radi mitjà de l'òrbita d'una altra lluna de Júpiter, Callisto, que té un període d' $1,44 \times 10^6$ s.

[1,25 punts]

DADA: $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$.

P4) La figura mostra l'estructura d'un accelerador lineal. Els cilindres metàl·lics tenen càrregues elèctriques alternades positives i negatives. A l'interior dels cilindres el camp elèctric és negligible. Les partícules carregades són accelerades per un camp elèctric aproximadament uniforme als espais entre els tubs (A, B, C...). La diferència de potencial entre cilindres és de 250 kV.



a) Si volem accelerar un electró que es mou del primer al segon cilindre, quins signes hauran de tenir les càrregues acumulades al primer i al segon cilindre? Justifiqueu la resposta. Dibuixeu les línies de camp elèctric a l'espai A entre cilindres. Si volem obtenir un camp de $8,00 \times 10^6$ N/C, calculeu la distància que separa els dos primers cilindres.

[1,25 punts]

b) Per a mantenir el sentit de l'acceleració, les polaritats dels cilindres s'inverteixen cada vegada que l'electró entra en el cilindre següent. Quants espais entre cilindres hauria de tenir l'accelerador si volem que l'electró surti amb una energia d'1,0 MeV? Sense tenir en compte la correcció relativista, quina seria la velocitat dels electrons? Comenteu el resultat obtingut.

[1,25 punts]

DADES: $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$.

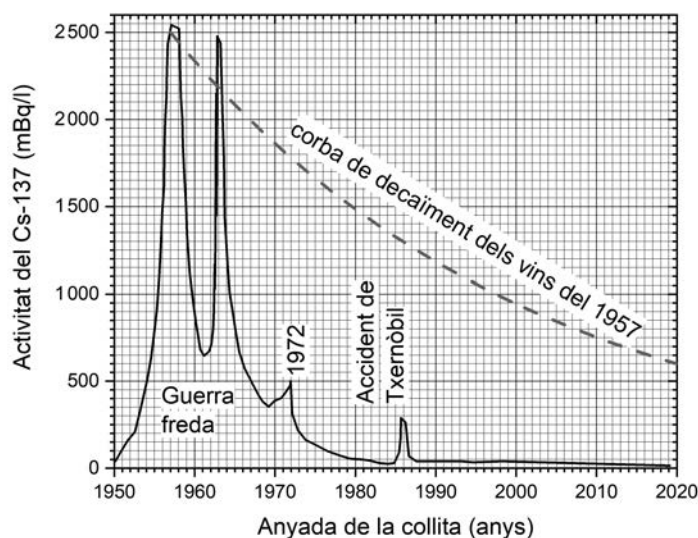
$|e| = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$.

$m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$.

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

- P5) Un estudi ha revelat que el contingut de cesi 137 en vins de diferents anyades es relaciona amb diferents episodis nuclears, especialment amb les explosions termonuclears que van ocórrer durant la guerra freda: el Cs-137 emès en aquests episodis es va incorporar als vins, i un cop a l'ampolla no hi va haver cap entrada ni sortida d'aquest isòtop radioactiu. Aquest isòtop es desintegra emetent radiacions beta i gamma que poden ser detectades i mesurades sense haver d'obrir les ampolles.

La gràfica mostra la radioactivitat que tenien els vins de cada any en el moment de la vinificació. La línia discontinua mostra l'activitat dels vins de la collita del 1957 a cada moment.



- a) Segons la gràfica els vins embotellats el 1957 tenien inicialment una activitat de 2 500 mBq (cada litre), que s'ha reduït fins a 600 mBq/l l'any 2020. Amb aquestes dades, calculeu el període de semidesintegració del Cs-137 i dibuixeu, sobre la mateixa gràfica de l'enunciat, la corba de decaïment per als vins embotellats el 1972 (any de les darreres proves nuclears franceses no subterrànies).

[1,25 punts]

- b) El Cs-137 es produeix a partir de processos com el que es representa a aquesta equació nuclear: ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1? \rightarrow {}_{55}^{137}\text{Cs} + {}_{37}^x\text{Rb} + 3{}_0^1?$

Completeu l'equació indicant els valors de x i y , i la naturalesa de la partícula indicada amb un interrogant. Digueu també de quina classe de reacció nuclear es tracta.

[1,25 punts]

FONT: Michael S. PRAVIKOFF i Philippe HUBERT, *Dating of wines with cesium-137: Fukushima's imprint*, <arXiv:1807.04340>.

- P6) La Lluna es troba a $3,84 \times 10^8$ m de la Terra. La massa de la Lluna és $7,35 \times 10^{22}$ kg i la de la Terra $5,98 \times 10^{24}$ kg.

- a) Calculeu el període de translació de la Lluna al voltant de la Terra. Calculeu l'energia potencial gravitatòria de la Lluna deguda a la gravetat de la Terra.

[1,25 punts]

- b) A quina distància de la Terra, entre la Terra i la Lluna, ens hem de situar per tal que es cancel·lin les forces gravitatòries de la Terra i la Lluna?

[1,25 punts]

DADA: $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$.

P7) El camp elèctric d'un feix de llum emès per un làser quan passa a través d'un vidre el podem expressar amb l'equació $\vec{E}(x, t) = 28 \cos(2,4 \times 10^{15} t - 1,2 \times 10^7 x) \vec{k}$, tot en unitats del sistema internacional.

a) Determineu la longitud d'ona i la velocitat de l'ona electromagnètica dins d'aquest vidre. Quant val l'índex de refracció d'aquest vidre? Quan la llum canvia de medi, la freqüència de l'ona electromagnètica no canvia. Quina és la longitud d'ona quan aquest feix de llum viatja pel buit?

[1,25 punts]

b) Quina és la direcció de propagació d'aquesta ona? En quin eix oscilla el camp magnètic? Justifiqueu la resposta.

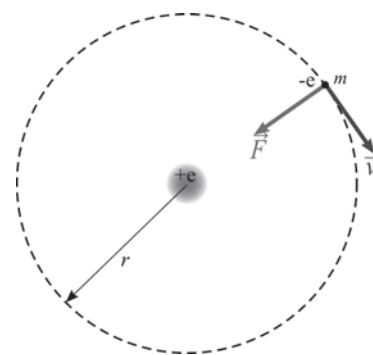
[1,25 punts]

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

P8) Segons el model atòmic de Bohr, les òrbites que descriuen els electrons al voltant del nucli compleixen la relació següent:

$$m_e v r = n \frac{h}{2\pi},$$

on m_e és la massa de l'electró, v la seva velocitat, r el radi de l'òrbita i n és un nombre enter (nombre quàntic principal). Per a l'estat fonamental, n val 1; per a la segona òrbita, n val 2, i així successivament.



a) En l'hidrogen muònic, el muó substitueix l'electró. El muó és una partícula idèntica a l'electró (és un leptó com l'electró i té la mateixa càrrega), però la seva massa és unes 200 vegades la massa de l'electró. Determineu el radi de l'òrbita del muó en el seu estat fonamental ($n = 1$). Quin àtom ocupa un volum més gran, l'àtom d'hidrogen o l'hidrogen muònic? Justifiqueu la resposta.

[1,25 punts]

b) L'energia del muó en l'estat fonamental és $-4,355 \times 10^{-16} \text{ J}$ i en la segona òrbita ($n = 2$) és $-1,089 \times 10^{-16} \text{ J}$. Quan el muó passa de la segona òrbita a l'estat fonamental emet un fotó. Quina és la freqüència i la longitud d'ona d'aquest fotó?

[1,25 punts]

DADES: $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$.

$|e| = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$.

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

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

$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,99 \times 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$.



Institut
d'Estudis
Catalans



SÈRIE 3

Criteris generals d'avaluació i qualificació

12. Les respostes s'han d'ajustar a l'enunciat de la pregunta. Es valorarà sobretot que l'alumnat demostrï que té clars els conceptes de caràcter físic sobre els quals tracta cada pregunta.
13. Es tindrà en compte la claredat en l'exposició dels conceptes, dels processos, dels passos a seguir, de les hipòtesis, l'ordre lògic, l'ús correcte dels termes científics i la contextualització segons l'enunciat.
14. En les respostes cal que l'alumnat mostri una adequada capacitat de comprensió de les qüestions plantejades i organitzi de forma lògica la resposta, tot analitzant i utilitzant les variables en joc. També es valorarà el grau de pertinença de la resposta, el que l'alumnat diu i les mancances manifestes sobre el tema en qüestió.
15. Totes les respostes s'han de raonar i justificar. Un resultat erroni amb un raonament correcte es valorarà. Una resposta correcta sense raonament ni justificació pot ser valorada amb un 0, si el corrector no és capaç de veure d'on ha sortit el resultat.
16. Tingueu en compte que un error no s'ha de penalitzar dues vegades en el mateix problema. Si un apartat necessita un resultat anterior, i aquest és erroni, cal valorar la resposta independentment del seu valor numèric, i tenir en compte el procediment de resolució.
17. Si la resolució presentada a l'examen és diferent però correcta i està d'acord amb els requeriments de l'enunciat, s'ha d'avaluar positivament encara que no coincideixi amb la resolució donada a la pauta de correcció.
18. Un o més errors en les unitats d'un apartat restarà 0,25 punts en la qualificació d'aquest l'apartat. Es consideren errors d'unitats: ometre les unitats en els resultats (finals o intermedis), utilitzar unitats incorrectes per una magnitud (tant en els resultats com en els valors intermedis) o operar amb magnituds d'unitats incompatibles (excepte en el cas d'un quocient on numerador i denominador tenen les mateixes unitats). Exemple: si l'apartat (a) val 1,25 punts i només s'ha equivocat en les unitats l'haurem de puntuar amb 1 punt.
19. Un o més errors de càlcul en un apartat restarà 0,25 punts en la qualificació d'aquest apartat. Exemple: si l'apartat (a) val 1,25 punts i només s'ha equivocat en les càlculs l'haurem de puntuar amb 1 punt.
20. Cal resoldre els exercicis fins al resultat final i no es poden deixar indicades les operacions.
21. Cal fer la substitució numèrica en les expressions que s'utilitzen per resoldre les preguntes.
22. Un resultat amb un nombre molt elevat de xifres significatives (6 xifres significatives) o amb poques xifres significatives (2 o menys) es penalitzarà amb 0,1p.



P1)

a)

0,25 p $E = \frac{1}{2}kx^2$

0,4 p Es pot calcular la constant elàstica a partir de qualsevol punt de la corba, en particular busquem un punt allunyat de l'origen per tenir més resolució:

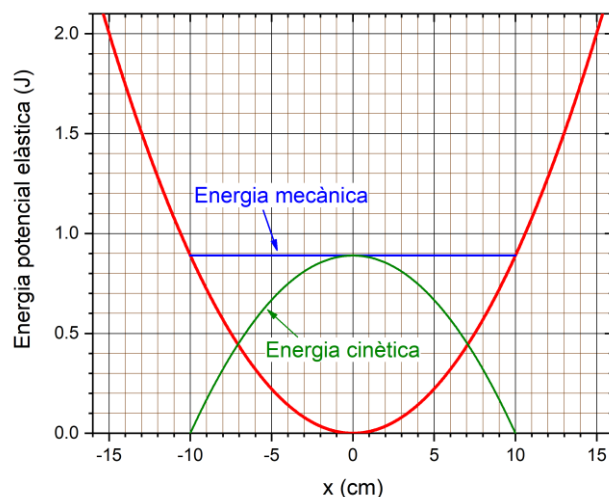
Per $x = 15 \text{ cm}$, $E = 2 \text{ J} \Rightarrow k = \frac{2E}{x^2} = \frac{2 \cdot 2,0}{0,15^2} = 178 \text{ N/m}$

0,1 p $T = \frac{6,52}{10} = 0,652 \text{ s}$

0,1 p $\omega = \frac{2\pi}{T} = 9,64 \text{ rad/s}$

0,4 p $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \Rightarrow m = \frac{k}{\omega^2} = \frac{178}{9,64^2} = 1,91 \text{ kg}$

b)



0,25 p Cal que s'identifiqui en el gràfic l'energia total del sistema que està al voltant de 0,9 J

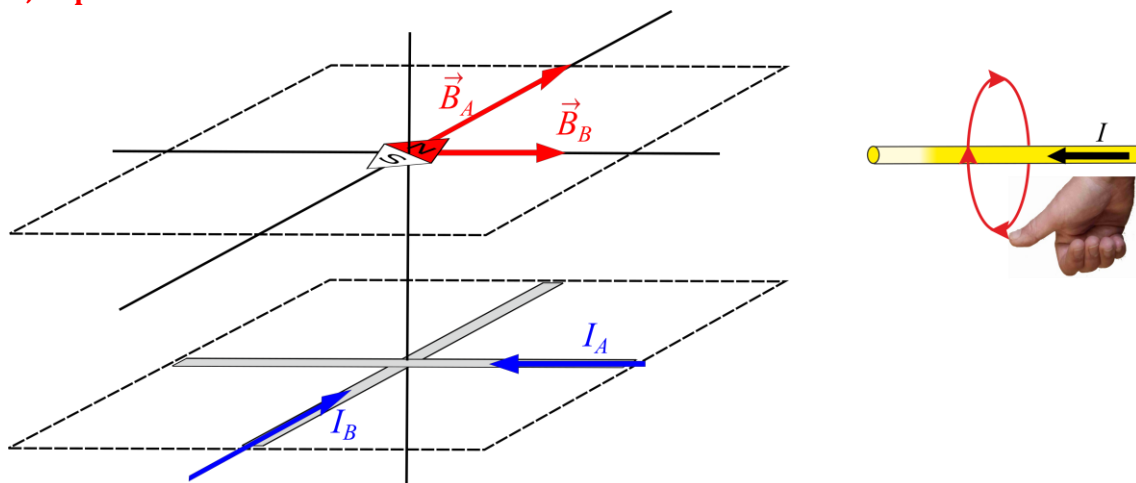
0,5 p Cal que s'estableixi que l'energia mecànica és constant.

0,5 p Cal que s'identifiqui que la suma de les energies cinètica i potencial és igual a l'energia mecànica.

P2)

a)

0,65 p



Les línies de camp magnètic són circumferències en un pla perpendicular al fil i centrades amb el fil, per tant:

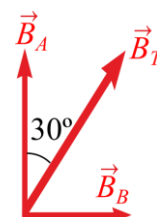
- cal dibuixar els camps perpendiculars als fils i en la direcció indicada en el dibuix,
- el sentit del camp es pot determinar segons la regla de la ma dreta.

0,6 p El camp magnètic creat pel fil és perpendicular al fil. Com els fils són perpendiculars entre ells, el camp magnètic creat pel fil A, $\vec{B}_A$, és paral·lel al fil B i viceversa. Llavors, el corrent que ha de circular pel fil B ha de ser zero, d'aquesta manera només circularà corrent pel fil A, i el camp total serà el generat pel fil A, $\vec{B}_A$, que és paral·lel al fil B.

b)

0,75 p Si el camp magnètic total fa un angle de 30° respecte el fil B, llavors el camp magnètic total fa un angle de 30° respecte $\vec{B}_A$. I com $\vec{B}_A$ i $\vec{B}_B$ són perpendiculars entre ells:

$$\frac{B_B}{B_A} = \tan(30^\circ)$$



0,4 p La intensitat de camp magnètic creada per un fil molt llarg en un punt és proporcional a la intensitat que hi circula i depèn de la distància d'aquest punt al fil. Com la distància és la mateixa pels dos fils, llavors el quocient d'intensitats de camp magnètic és igual al quocient de corrents:

$$\frac{I_B}{I_A} = \frac{B_B}{B_A} = \tan(30^\circ)$$

0,1 p $I_B = I_A \tan(30^\circ) = 5,77 \text{ A}$



P3)

a)

0,2 p Per calcular la massa de Júpiter ens cal primer la velocitat lineal o angular: $v = \frac{2\pi r}{T}$ o $\omega = \frac{2\pi}{T}$

0,1 p $v = \frac{2\pi r}{T} = 1,73 \times 10^4 \text{ m/s}$ o $\omega = \frac{2\pi}{T} = 4,11 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$.

0,1 p La segona llei de Newton estableix que: $\vec{F} = M_{Io} \vec{a}$

Segons la llei de gravitació universal, el mòdul de la força s'expressa com:

$$F = G \frac{M_{Io} M_J}{r^2} \quad \mathbf{0,2 p.}$$

Per tant obtenim que: $a = G \frac{M_J}{r^2}$ **0,1 p.**

0,2 p D'altra banda, considerant que Io descriu un moviment circular uniforme al voltant de Júpiter, la seva acceleració centrípeta és: $a = \frac{v^2}{r}$ o $a = \omega^2 r$,

I la massa de Júpiter és

$$\mathbf{0,25 p.} \quad M_J = \frac{r \cdot v^2}{G} = 1,90 \times 10^{27} \text{ kg} \text{ o } M_J = \frac{r^3 \cdot \omega^2}{G} = 1,90 \times 10^{27} \text{ kg} \quad \mathbf{0,1 p.}$$

b)

1 p De la tercera llei de Kepler:

$$\frac{T_{Io}^2}{r_{Io}^3} = \frac{T_{Cal\cdot listo}^2}{r_{Cal\cdot listo}^3} \Rightarrow r_{Cal\cdot listo} = r_{Io} \left(\frac{T_{Cal\cdot listo}}{T_{Io}} \right)^{\frac{2}{3}} = 1,88 \times 10^9 \text{ m} \quad \mathbf{0,25 p}$$

Alternativament

0,1 p La velocitat angular és: o $\omega = \frac{2\pi}{T} = 4,36 \times 10^{-6} \text{ rad/s}$.

$$\mathbf{0,25 p.} \quad G \frac{M_{Cal\cdot listo} M_J}{r^2} = M_{Cal\cdot listo} \omega^2 r$$

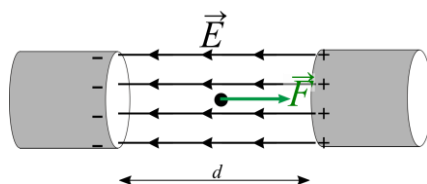
$$\mathbf{0,8 p} \quad r = \sqrt[3]{G \frac{M_J}{\omega^2}} = 1,88 \times 10^9 \text{ m} \quad \mathbf{0,1 p}$$

P4)

a)

0,4 p Al primer cilindre càrrega negativa per tal de repel·lir l'electró i al segon cilindre càrrega positiva per tal d'atreure'l.

0,5 p Les línies de camp surten de les càrregues positives i van a parar a les càrregues negatives:



$$\mathbf{0,25 p} \quad |\vec{E}| = \frac{\Delta V}{d} \Rightarrow d = \frac{\Delta V}{|\vec{E}|} = \frac{250.000}{8,00 \times 10^6} = 0,0312 \text{ m} = 3,12 \times 10^{-2} \text{ m} \quad \mathbf{0,1 p}$$



b)

0,6 p $E_c = n \cdot e \cdot \Delta V = 1,00 \times 10^6 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-13} \text{ J}$

$$n = \frac{E_c}{e \cdot \Delta V} = \frac{1,602 \times 10^{-13}}{1,602 \times 10^{-19} \cdot 250.000} = 4$$

O de la definició de eV, directament:

$$n = \frac{E_c}{e \cdot \Delta V} = \frac{1,00 \times 10^6 \text{ V}}{250.000} = 4$$

0,4 p $v = \sqrt{2 \frac{E_c}{m_e}} = 5,93 \times 10^8 \text{ m/s}$

0,25 p Surt un resultat impossible $v > c$, la velocitat de l'electró no pot superar la velocitat de la llum. Caldria aplicar la correcció relativista per calcular la velocitat correcta.

P5)

a)

0,4 p $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$

0,1 p $t = 2020 - 1957 = 63 \text{ anys}$

0,25 p $\lambda = -\frac{\ln(A(t)/A_0)}{t} = -\frac{\ln(600/2500)}{63} = 0,0226 \text{ anys}^{-1}$

0,1 p $0,5 = e^{-\lambda T_{1/2}} \Rightarrow T_{1/2} = -\frac{\ln 0,5}{\lambda} = 30,6 \text{ anys}$

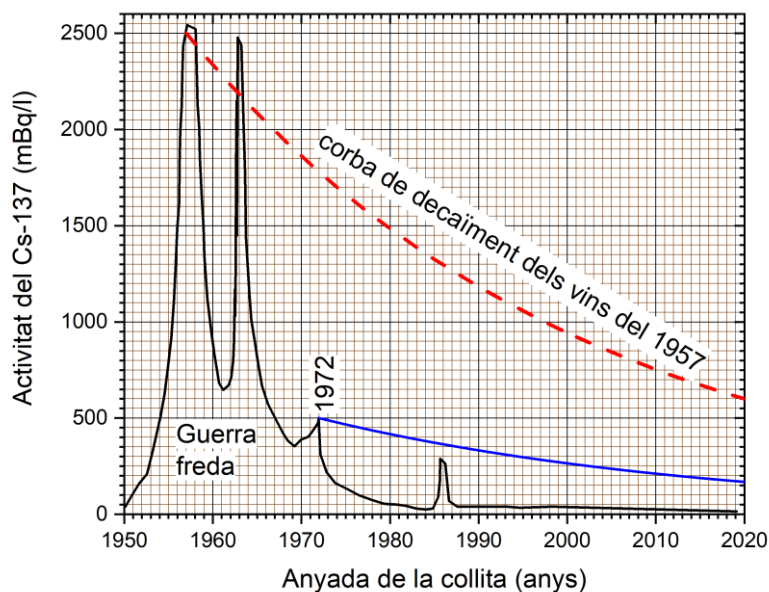
Alternativament

0,4 p $A(t) = A_0 2^{-t/T_{1/2}}$

0,1 p $t = 2020 - 1957 = 63 \text{ anys}$

0,35 p $\frac{600}{2500} = 0,24 = 2^{-t/T_{1/2}} \Rightarrow T_{1/2} = -t \frac{\ln 2}{\ln 0,24} = 30,6 \text{ anys}$

0,4 p



Cal que la figura comenci al pic de l'any 1972 i mostri un decreixement logarítmic. A l'any

2020 l'activitat és: $A(t) = A_0 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} = 500 \cdot 2^{-\frac{48}{30,6}} = 168 \text{ mBq/l.}$

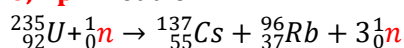


b)

0,4 p Càlcul de x : $235 + 1 = 137 + x + 3 \cdot 1 \Rightarrow x = 96$

0,4 p Càlcul de y : $92 = 55 + y \Rightarrow y = 37$

0,2 p neutró



0,25 p Es tracta d'una fissió nuclear.

P6)

a)

La segona llei de Newton estableix que: $\vec{F} = M_{Ll}\vec{a}$ **0,1 p**.

Segons la llei de gravitació universal, el mòdul de la força s'expressa com:

$$F = G \frac{M_{Ll}M_T}{r^2} \quad \mathbf{0,2\ p}$$

Per tant obtenim que: $a = G \frac{M_T}{r^2}$ **0,1 p**

D'altra banda, considerant que el satèl·lit descriu un moviment circular uniforme al voltant de la Terra, la seva acceleració centrípeta és: $a = \frac{v^2}{r}$ o $a = \omega^2 r$ **0,1 p**, i la velocitat es

pot expressar com $v = \frac{2\pi r}{T}$ o $\omega = \frac{2\pi}{T}$ **0,1 p**

Per tant: $T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM_T}}$ **0,1 p**

Llavors: $T = 2\pi \sqrt{\frac{(3,84 \times 10^8)^3}{6,67 \times 10^{-11} \cdot 5,98 \times 10^{24}}} = 2,37 \times 10^6 \text{ s} = 27,4 \text{ dies}$ **0,1 p**

0,35 p $U_g = -G \frac{M_{Ll}M_T}{r} = -6,67 \times 10^{-11} \frac{7,35 \times 10^{22} \cdot 5,98 \times 10^{24}}{3,84 \times 10^8} = -7,63 \times 10^{28} \text{ J}$ **0,1 p**

b)

Segons la llei de gravitació universal,

$$\mathbf{0,4\ p} \quad G \frac{mM_T}{d^2} = G \frac{mM_{Ll}}{(R_{TLl}-d)^2}$$

$$\mathbf{0,5\ p} \quad \left[\frac{R_{TLl}-d}{d} \right]^2 = \frac{M_{Ll}}{M_T} \Rightarrow \frac{R_{TLl}-d}{d} = \pm \sqrt{\frac{M_{Ll}}{M_T}} \Rightarrow \frac{R_{TLl}}{d} = 1 \pm \sqrt{\frac{M_{Ll}}{M_T}} \Rightarrow d = \frac{R_{TLl}}{1 \pm \sqrt{\frac{M_{Ll}}{M_T}}}$$

Dues possibles solucions:

0,35 p $d = \frac{R_{TLl}}{1 - \sqrt{\frac{M_{Ll}}{M_T}}} = 4,31 \times 10^8 \text{ m} > R_{TLl}$, aquesta solució no es bona, atès que no es

troba entre la Terra i la Lluna tal i com demana l'enunciat.

$d = \frac{R_{TLl}}{1 + \sqrt{\frac{M_{Ll}}{M_T}}} = 3,46 \times 10^8 \text{ m} < R_{TLl}$, aquesta és la resposta correcte!



P7)

a)

0,25 p L'equació d'una ona és: $\psi(x, t) = A \cos(\omega t - kx) = A \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$

0,25 p Llavors $\omega = 2,40 \times 10^{15} \text{ rad/s}$ i $k = 1,20 \times 10^7 \text{ rad/s}$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2,618 \times 10^{-15} \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} = 3,82 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} = 5,24 \times 10^{-7} \text{ m} \quad \textbf{0,1 p}$$

0,1 p $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f = 2,00 \times 10^8 \text{ m/s}$

0,2 p $n = \frac{c}{v} = 1,5$

0,15 p En el buit la velocitat de propagació és $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$

0,2 p $\lambda = cf = 7,85 \times 10^{-7} \text{ m}$

b)

0,65 p La direcció de propagació és l'eix x atès que la coordenada x apareix en l'argument de l'equació de l'ona.

0,6 p El camp magnètic és perpendicular a la direcció de propagació (eix x) i al camp elèctric. Segons l'equació de l'ona electromagnètica el camp elèctric oscil·la en l'eix (z) (segons l'equació de l'ona, la direcció $\vec{E}(x, t)$ ve donada pel vector unitari $\vec{k}$). Per tant, el camp magnètic oscil·la en la direcció de l'eix y .



P8)

a)

0,2 p $m_m v r_m = \frac{h}{2\pi} \Rightarrow v = \frac{h}{2\pi m_m r_m}$

0,25 p D'altra banda, considerant que el muó descriu un moviment circular uniforme al voltant del nucli, la seva acceleració centrípeta és: $a = \frac{v^2}{r_m} = \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 \frac{1}{m_m^2 r_m^3}$

0,1 p La segona llei de Newton estableix que la força normal és: $F = m_m a = \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 \frac{1}{m_m r_m^3}$

0,1 p i la llei de Coulomb: $F = k \frac{e^2}{r_m^2}$

0,25 p Per tant obtenim que $k \frac{e^2}{r_m^2} = \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 \frac{1}{m_m r_m^3}$

$r_m = \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 \frac{1}{m_m k e^2} = 2,65 \times 10^{-13} \text{ m}$ **0,1 p**

0,25 p De l'anterior expressió podem comprovar que el radi de l'òrbita és inversament proporcional a la massa del leptó, per tant el radi de l'electró serà 200 vegades més gran que el radi del muó. Llavors, serà molt més gran l'hidrogen que l'hidrogen muònic.

b)

0,5 p L'energia del fotó emès és igual a la energia perduda per l'electró quan salta de l'òrbita de més energia a la fonamental, és a dir,:

$$E_{\text{fotó}} = -(E_1 - E_2) = 3,266 \times 10^{-16} \text{ J}$$

0,25 p Per altre banda l'energia del fotó és: $E_{\text{fotó}} = hf = h \frac{c}{\lambda}$

I finalment,

0,25 p $f = \frac{E_{\text{fotó}}}{h} = 4,93 \times 10^{17} \text{ Hz}$

0,25 p $\lambda = h \frac{c}{E_{\text{fotó}}} = \frac{c}{f} = 6,09 \times 10^{-10} \text{ m}$