

## Proves d'accés a la universitat

### Física

#### Sèrie 1

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) Freddie Mercury ha passat a la història com una de les millors veus del rock. La seva màgica veu ha estat objecte de discussió i estudi, també per a la ciència. El biofísic austríac Christian Herbst va estudiar la veu del cantant de Queen i va determinar que Mercury era un baríton amb un registre vocal que anava del fa 2 (al voltant de 92,2 Hz) al sol 5 (al voltant de 784 Hz).



FONT: <https://queenphotos.wordpress.com>.

- a) Calculeu les longituds d'ona dels sons més greus i més aguts que Mercury podia emetre.  
[1,25 punts]
- b) L'any 1985, Queen va actuar al festival Rock in Rio, en un concert que va aplegar unes 350 000 persones. En un moment de molta emoció, els assistents van començar a cantar *a cappella* la famosa cançó *Love of my life*. Si cada assistent al concert cantava amb una potència de  $10^{-7}$  W, quin nivell d'intensitat sonora (en decibels) es podia percebre a 1 km del concert? (A aquesta distància, podeu considerar que el concert és una font puntual de so.)  
[1,25 punts]

DADES:  $I_0 = 10^{-12} \text{ W m}^{-2}$ .

La velocitat del so en l'aire és de  $340 \text{ m s}^{-1}$ .

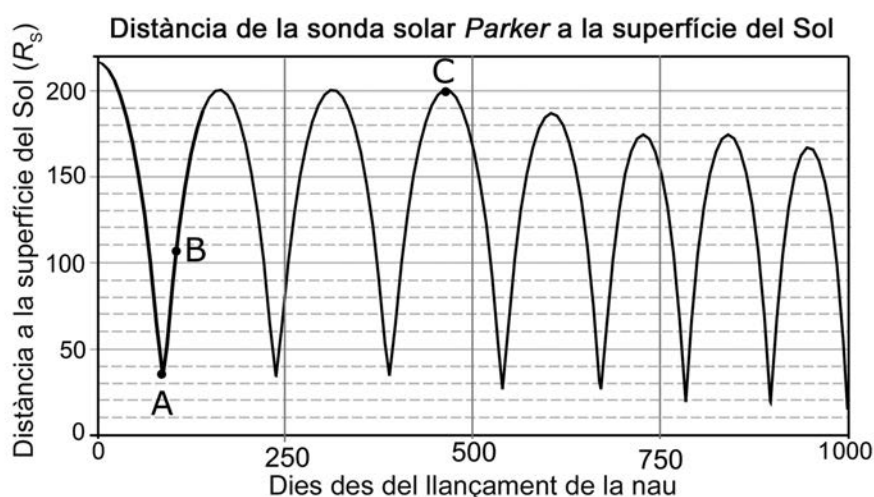
- P2)** Durant una tempesta cau un llamp pel qual circula un corrent elèctric de 400 kA. Supposeu que la intensitat del corrent del llamp és constant durant els 50  $\mu$ s que dura.
- a)** Quina és la càrrega elèctrica total que ha transportat aquest llamp? Quin és el camp magnètic que crea aquest corrent a una distància de 100 m?  
[1,25 punts]
- b)** Quina força magnètica actua sobre una partícula carregada que es troba en repòs a aquesta mateixa distància? Justifiqueu la resposta.  
[1,25 punts]

DADES:  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T m A}^{-1}$ .

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

La intensitat del camp magnètic creat per un corrent rectilini és  $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ , en què  $r$  és la distància al corrent.

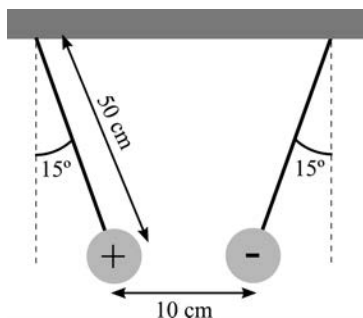
- P3)** La sonda solar *Parker* (en anglès, *Parker Solar Probe*) és una nau espacial en òrbita al voltant del Sol que té com a objectiu acostar-se molt a la superfície solar. La gràfica següent mostra com varia la distància de la nau respecte al Sol al llarg dels primers 1 000 dies de missió i indica els instants A, B i C. Les unitats emprades per a mesurar la distància a la superfície del Sol són radis solars,  $R_s$ .



FONT: <http://parkersolarprobe.jhuapl.edu>.

- a)** Observeu a la gràfica els moments de màxim acostament al Sol de cada òrbita i determineu quantes voltes completes ha fet la nau al voltant del Sol en aquests 1 000 dies. Quant mesura l'eix major de l'òrbita entre els moments A i C? (Doneu el resultat en radis solars.)  
[1,25 punts]
- b)** Representeu esquemàticament el Sol i l'òrbita de la nau entre els moments A i C. Indiqueu sobre el dibuix les posicions corresponents a A, B i C. Situeu la nau en la posició B i dibuixeu en aquest instant els vectors velocitat i acceleració de la nau (no cal calcular-ne els mòduls). En quina posició la velocitat de la nau és màxima? Justifiqueu la resposta i indiqueu el principi físic en què us baseu.  
[1,25 punts]

- P4)** Dues esferes iguals de 20 g de massa pengen cadascuna d'un fil de 50 cm de llarg, tal com mostra la figura. Totes dues esferes tenen càrregues elèctriques iguals, però de signe contrari. A causa de l'atracció elèctrica que hi ha entre les esferes, els fils formen un angle de  $15^\circ$  amb la vertical. En aquesta configuració, la distància entre les esferes és de 10 cm.



- Calculeu el mòdul de la força elèctrica entre les esferes i el valor de les seves càrregues elèctriques.  
[1,25 punts]
- Si retiréssim la càrrega positiva, quin camp hauríem de crear al voltant de la càrrega negativa perquè aquesta última no canviés de posició? Indiqueu-ne el mòdul i representeu esquemàticament la direcció i el sentit que tindria. Com hauria de ser aquest camp si, en lloc de retirar la càrrega positiva, retiréssim la càrrega negativa?  
[1,25 punts]

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

NOTA: Supposeu que les dues càrregues són puntuals.

- P5)** El  $^{14}_6\text{C}$  es produeix a l'atmosfera per l'acció dels raigs còsmics. Aquest isòtop és inestable i va decaient a  $^{14}_7\text{N}$  mitjançant un procés de desintegració  $\beta$ , amb un període de semi-desintegració de 5 730 anys. La proporció de  $^{14}_6\text{C}$  respecte al  $^{12}_6\text{C}$  que hi ha a l'atmosfera és constant al llarg del temps. Els éssers vius assimilen el  $\text{CO}_2$  de l'atmosfera sense distingir si es tracta de  $^{12}_6\text{C}$  o de  $^{14}_6\text{C}$ , i ho fan en la proporció en què aquests isòtops es troben de manera natural a l'atmosfera. Quan moren, els éssers deixen d'assimilar  $\text{CO}_2$  i, a partir d'aquest moment, la quantitat de  $^{14}_6\text{C}$  va decaient.
- Escriviu la reacció que correspon al decaïment del  $^{14}_6\text{C}$  a  $^{14}_7\text{N}$ . Incloeu-hi, si escau, els antineutrins.  
[1,25 punts]
  - Si una mostra d'una fusta utilitzada en un sarcòfag presenta una proporció de  $^{14}_6\text{C}$  de només el 58 % respecte a la proporció que hi ha a l'atmosfera, trobeu quina és l'antiguitat del sarcòfag.  
[1,25 punts]

**P6)** El 1971 l'astronauta David Scott, de la missió *Apollo 15*, va fer l'experiment següent a la superfície de la Lluna: en una mà hi tenia una ploma de falcó de 30 g de massa i a l'altra mà hi tenia un martell d'alumini d'1,32 kg. Els va deixar anar alhora des de la mateixa altura i va comprovar la predicció de Galileu segons la qual en caiguda lliure els dos objectes havien d'arribar simultàniament a terra. Concretament, tots dos objectes van trigar 1,1 s a recórrer els 100 cm que els separaven del terra.

**a)** A partir de l'experiment de David Scott, calculeu la intensitat del camp gravitatori a la superfície de la Lluna i la massa de la Lluna.

[1,25 punts]

**b)** Calculeu el període orbital de la Lluna al voltant de la Terra.

[1,25 punts]

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

$M_{\text{Terra}} = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$ .

Distància Terra-Lluna =  $3,84 \times 10^8 \text{ m}$ .

$R_{\text{Lluna}} = 1,74 \times 10^6 \text{ m}$ .

**P7)** Dues càrregues elèctriques puntuals de  $-5,0 \mu\text{C}$  i  $7,0 \mu\text{C}$  estan separades 10 cm l'una de l'altra.

**a)** Calculeu el camp elèctric (mòdul, direcció i sentit) en un punt a 3,0 cm de la càrrega negativa i a 7,0 cm de la càrrega positiva. Aquest punt pertany a la línia que uneix les dues càrregues.

[1,25 punts]

**b)** Calculeu en quin punt de la línia que uneix les càrregues el potencial elèctric és nul.

[1,25 punts]

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

**P8)** Per a obrir i tancar la porta del garatge, disposem d'una cèl·lula fotoelèctrica d'un material alcalí que presenta una funció de treball d'1,20 eV. Sobre la superfície d'aquest material hi fem incidir llum de diverses longituds d'ona:  $\lambda_1 = 1,04 \mu\text{m}$ ;  $\lambda_2 = 0,6 \mu\text{m}$ ;  $\lambda_3 = 0,5 \mu\text{m}$ .

**a)** Quina freqüència i quina energia (en eV) tenen els fotons incidents en cada cas?

[1,25 punts]

**b)** Representeu en una gràfica l'energia cinètica màxima dels electrons arrencats del fotocàtode en funció de l'energia dels fotons incidents (en eV). Hi ha electrons arrencats en tots els casos? Justifiqueu la resposta.

[1,25 punts]

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

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

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



Institut  
d'Estudis  
Catalans



## Proves d'accés a la universitat

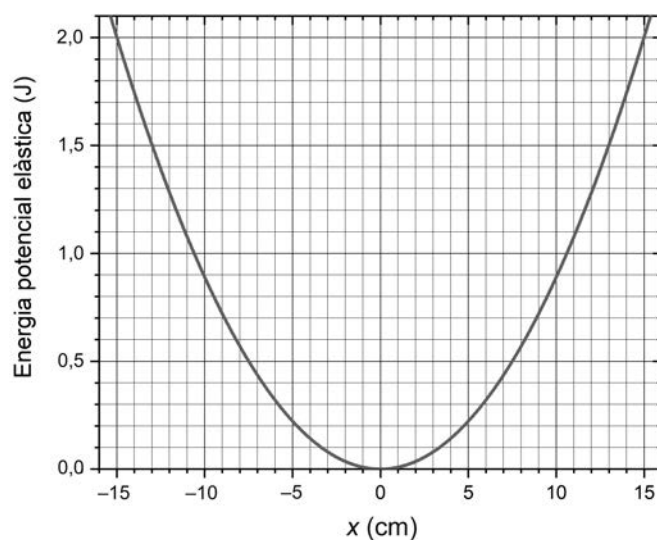
### Física

#### Sèrie 3

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

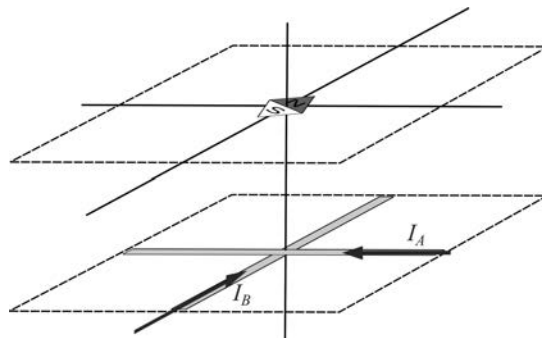
Cada problema val 2,5 punts.

- 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  $30^\circ$  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.

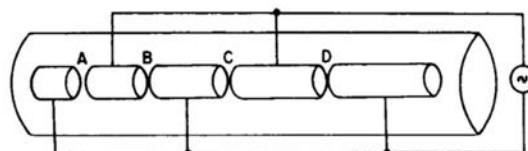
[1,25 punts]

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

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

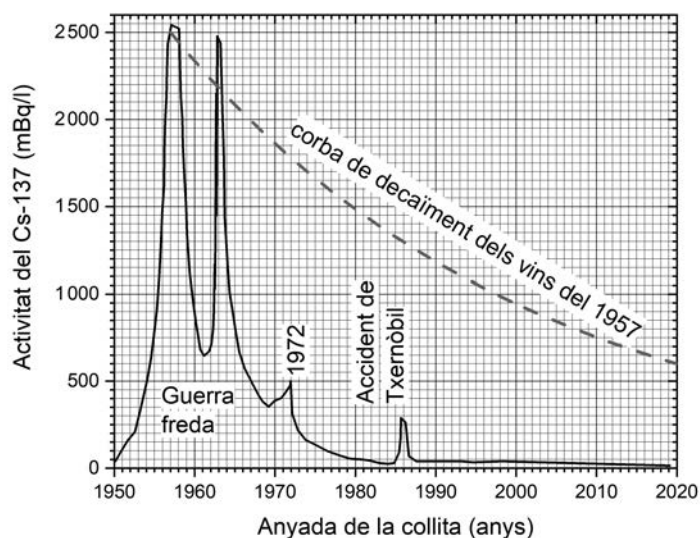
$m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ .

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



- 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.

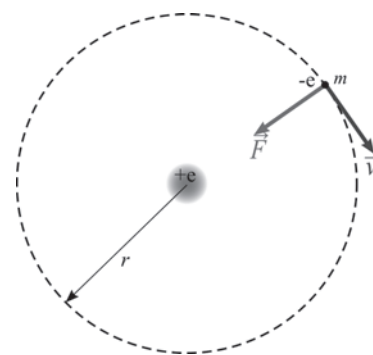
[1,25 punts]

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 1

### **Criteris generals d'avaluació i qualificació**

1. Les respostes s'han d'ajustar a l'enunciat de la pregunta. Es valorarà sobretot que l'alumnat mostri que té clars els conceptes de caràcter físic sobre els quals tracta cada pregunta.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Cal resoldre els exercicis fins al resultat final i no es poden deixar indicades les operacions.
10. Cal fer la substitució numèrica en les expressions que s'utilitzen per resoldre les preguntes.
11. Un resultat amb un nombre molt elevat de xifres significatives (6 xifres significatives) es penalitzarà amb 0,1p.



P1)

a)

**0,65 p**  $\lambda_{min} = \frac{v}{f} = \frac{340}{784} = 0,43 \text{ m}$

**0,6 p**  $\lambda_{max} = \frac{v}{f} = \frac{340}{92,2} = 3,69 \text{ m}$

b)

**0,25 p**  $A = 4\pi r^2 = 4\pi 1000^2 = 1,26 \times 10^7 \text{ m}^2$

**0,5 p**  $I = \frac{N \cdot I_{persona}}{A} = \frac{350.000 \cdot 10^{-7}}{1,26 \times 10^7} = 2,78 \times 10^{-9} \text{ W/m}^2$

**0,5 p**  $\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{2,78 \times 10^{-9}}{10^{-12}} = 34,45 \text{ dB}$

P2)

a)

**0,65 p**  $I = \frac{Q}{t} \Rightarrow Q = I \cdot t = 4 \times 10^5 \cdot 5 \times 10^{-5} = 20 \text{ C}$

**0,6 p**  $B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \cdot 4 \times 10^5}{2\pi \cdot 100} = 8 \times 10^{-4} \text{ T}$

b)

**0,4 p**  $\vec{F} = q (\vec{v} \times \vec{B})$

**0,85 p** Si la velocitat de la partícula és zero, llavors també ho serà la força magnètica; el camp magnètic només actua sobre càrregues en moviment.



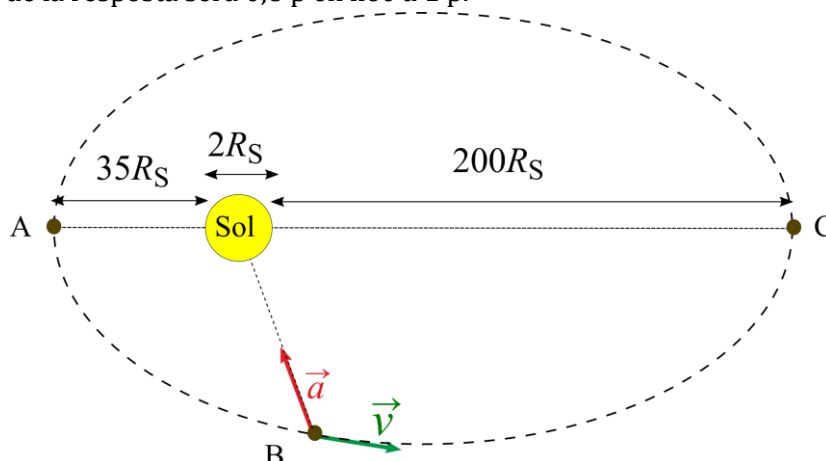
P3)

a)

**0,25 p** De la gràfica, s'han completat 7 voltes.

**1,0 p** De l'esquema la longitud de l'eix major és:  $35R_S + 2R_S + 200R_S = 237R_S$

Si el resultat és  $235R_S$  perquè no s'ha tingut en compte el diàmetre del Sol, llavors la qualificació de la resposta serà 0,8 p en lloc d'1 p.



b)

**0,25 p** Dibuix d'una òrbita el·líptica amb el sol en un dels seu focus.

**0,1 p** Identificar els punts A i C com el més proper i el més allunyat del Sol.

**0,25 p** Representar correctament la direcció i sentit dels vectors acceleració i velocitat.

**0,4 p** Conservació de l'energia mecànica:

$$E_m = \frac{1}{2}mv^2 - G \frac{mM_T}{r} \Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = \text{constant} + G \frac{mM_T}{r}$$

**0,25 p** Quan  $r$  és mínim, llavors el terme  $G \frac{mM_T}{r}$  i l'energia cinètica són màxims, per tant, el punt on la velocitat és més gran és el punt més proper al Sol, el punt A. També es pot argumentar a partir de la conservació de l'energia mecànica que l'energia cinètica és màxima quan l'energia potencial gravitatòria és mínima, i això passa quan la distància entre el Sol i la nau és mínima.

#### Alternativament

**0,4 p** Segona llei de Kepler: "Un segment rectilini que uneix la nau i el Sol escombra àrees iguals en intervals de temps iguals".

**0,25 p** Com que la longitud d'aquest segment és mínima al punt A, llavors, per escombrar la mateixa àrea en el mateix interval de temps, cal que el desplaçament sigui màxim, és a dir, cal que la velocitat de la nau sigui màxima.



P4)

a)

**0,25 p**  $|\vec{F}_e| = \left| k \frac{q^2}{d^2} \right|$

Condicció d'equilibri:

**0,5 p** 
$$\left. \begin{aligned} T \sin(15^\circ) &= k \frac{q^2}{d^2} \\ T \cos(15^\circ) &= mg \end{aligned} \right\} \Rightarrow \tan(15^\circ) = k \frac{q^2}{mg d^2} \Rightarrow q = d \sqrt{\tan(15^\circ) \frac{mg}{k}}$$

**0,25 p**  $q = d \sqrt{\tan(15^\circ) \frac{mg}{k}} = 0,1 \sqrt{\tan(15^\circ) \frac{0,02 \cdot 9,81}{8,99 \times 10^9}} = 2,42 \times 10^{-7} \text{ C}$

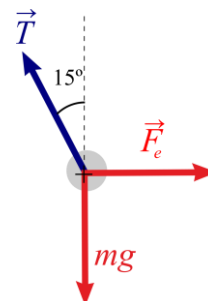
**0,25 p**  $|\vec{F}| = \left| k \frac{q^2}{d^2} \right| = 8,99 \times 10^9 \frac{(2,42 \times 10^{-7})^2}{(0,1)^2} = 5,26 \times 10^{-2} \text{ N}$

Alternativament

**0,5 p** 
$$\left. \begin{aligned} T \sin(15^\circ) &= |\vec{F}_e| \\ T \cos(15^\circ) &= mg \end{aligned} \right\} \Rightarrow \tan(15^\circ) = \frac{|\vec{F}_e|}{mg} \Rightarrow |\vec{F}_e| = mg \tan(15^\circ)$$

**0,25 p**  $|\vec{F}_e| = mg \tan(15^\circ) = 0,02 \cdot 9,81 \tan(15^\circ) = 5,26 \times 10^{-2} \text{ N}$

**0,25 p**  $q = d \sqrt{\frac{|\vec{F}_e|}{k}} = 0,1 \sqrt{\frac{5,26 \times 10^{-2}}{8,99 \times 10^9}} = 2,42 \times 10^{-7} \text{ C}$



b)

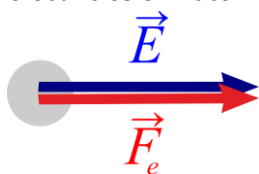
Serà el mateix camp que crea la càrrega positiva:

**0,5 p**  $|\vec{E}| = \left| k \frac{q}{d^2} \right| = 8,99 \times 10^9 \frac{2,42 \times 10^{-7}}{(0,1)^2} = 2,17 \times 10^5 \text{ N/C}$

**0,4 p** La direcció és horitzontal i el sentit oposat a la força, és a dir apunta cap a la dreta:



**0,35 p** Serà el mateix camp, per una banda com el valor absolut de la càrrega i la distància són iguals, la intensitat del camp elèctric serà la mateixa. Per altra banda, la força elèctrica té la mateixa direcció que el cas anterior però sentit oposat. Com que es tracta d'una càrrega positiva, la força i el camp tenen el mateix sentit, per tant, el sentit del camp elèctric és el mateix que en el cas anterior:





P5)

a)

**1,25 p**  ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_1\text{e} + {}^0_0\bar{\nu}_e$

En aquest apartat es penalitzarà l'omissió de l'antineutrí amb 0,25p.

**Alternativament** es pot escriure  ${}^0_1\beta$  enlloc de  ${}^0_1\text{e}$ .

b)

**0,25 p**  $m(t) = m_0 e^{-\lambda t}$

**0,25 p**  $\frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}} \Rightarrow \lambda = -\frac{\ln 0,5}{T_{1/2}} = 1,21 \times 10^{-4} \text{ anys}^{-1}$

**0,75 p**  $\frac{m(t)}{m_0} = 0,58 = e^{-\lambda t} \Rightarrow t = -\frac{\ln 0,58}{\lambda} = 4500 \text{ anys}$

**Alternativament**

**1,0 p**  $\left. \begin{array}{l} 0,58 = e^{-\lambda t} \\ 0,5 = e^{-\lambda T_{1/2}} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\ln 0,58}{\ln 0,5} = \frac{t}{T_{1/2}}$

**0,25 p**  $t = T_{1/2} \frac{\ln 0,58}{\ln 0,5} = 4500 \text{ anys}$

P6)

a)

**0,25 p**  $\Delta s = \frac{1}{2} g t^2 \Rightarrow g = \frac{2\Delta s}{t^2} = \frac{2 \cdot 1}{1,1^2} = 1,65 \text{ m/s}^2$ .

**0,75 p**

$g = G \frac{M_{\text{Lluna}}}{R_{\text{Lluna}}^2} \Rightarrow M_{\text{Lluna}} = g \frac{R_{\text{Lluna}}^2}{G} = 1,65 \frac{(1,74 \times 10^6)^2}{6,67 \times 10^{-11}} = 7,50 \times 10^{22} \text{ kg}$  **0,25 p**

b)

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

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

$F = G \frac{mM_T}{r^2}$  **0,4 p**

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

D'altra banda, considerant que la Lluna descriu un moviment circular uniforme al voltant de la terra, la seva acceleració centrípeta és:  $a = \frac{v^2}{r}$  o  $a = \omega^2 r$  **0,25 p**, i la velocitat es pot

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

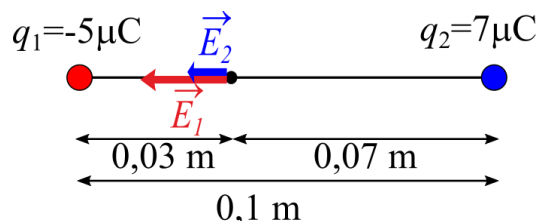
Per tant:  $T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM_T}}$  **0,1 p**

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**



P7)

a)



**0,45 p** Com que el punt on hem de calcular el camp està situat entre les dues càrregues i aquestes tenen signe diferent, el camp total serà la suma dels valors absoluts dels camps de cadascuna de les càrregues, la direcció serà la de la recta que uneix les dues càrregues i el sentit serà el que va de la càrrega positiva cap a la negativa.

**0,25 p**  $|\vec{E}_1| = \left| k \frac{q_1}{d_1^2} \right| = 8,99 \times 10^9 \frac{5 \times 10^{-6}}{(0,03)^2} = 4,99 \times 10^7 \text{ N/C}$

**0,25 p**  $|\vec{E}_2| = \left| k \frac{q_2}{d_2^2} \right| = 8,99 \times 10^9 \frac{7 \times 10^{-6}}{(0,07)^2} = 1,28 \times 10^7 \text{ N/C}$

I com els dos camps són paral·lels, el mòdul de la suma és la suma de mòduls:

**0,3 p**  $|\vec{E}_{Total}| = |\vec{E}_1| + |\vec{E}_2| = 6,28 \times 10^7 \text{ N/C}$

b)

**0,25 p**  $V_p = V_1 + V_2 = 0$

**0,4 p**  $0 = -8,99 \times 10^9 \frac{5 \times 10^{-6}}{d} + 8,99 \times 10^9 \frac{7 \times 10^{-6}}{0,1-d}$

**0,4 p**  $\frac{5}{d} = \frac{7}{0,1-d} \Rightarrow \frac{d}{5} = \frac{0,1-d}{7} \Rightarrow 12d = 0,5 \Rightarrow d = 0,0417 \text{ m}$  **0,2 p**

P8)

a)

**0,4 p**  $f = \frac{c}{\lambda}$

**0,5 p**  $E_{fotó} = hf$

**0,35 p**

$\lambda$ (μm)	$f$ (Hz)	$E$ (J)	$E$ (eV)
1,04	$2,88 \times 10^{14}$	$1,91 \times 10^{-19}$	1,19
0,6	$5 \times 10^{14}$	$3,32 \times 10^{-19}$	2,07
0,5	$6 \times 10^{14}$	$3,98 \times 10^{-19}$	2,48

b)

**0,5 p**  $E_{c,màx} = hf - W_e$

$\lambda$ (μm)	$E$ (eV)	$E_{c,màx}$ (eV)
1,04	1,19	-
0,6	2,07	0,87
0,5	2,48	1,28

**0,25 p** La freqüència llindar correspon a la dels fotons que tenen una energia  $W_e$ :

$$f = \frac{W_e}{h} = \frac{1,2 \cdot 1,602 \times 10^{-19}}{6,63 \times 10^{-34}} = 2,90 \times 10^{14} \text{ Hz}$$



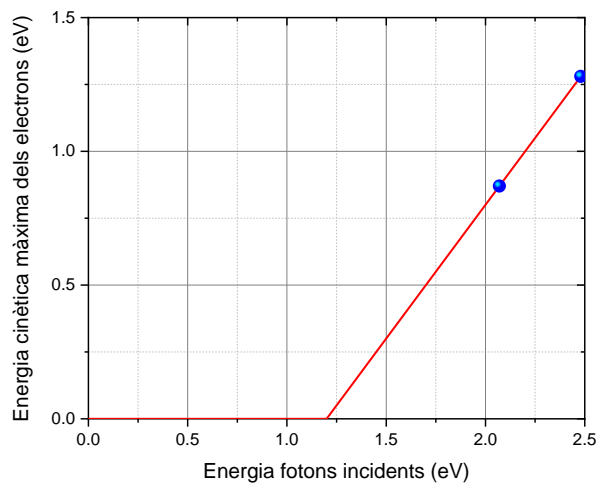


**Criteris de correcció**

**Física**

No hi ha electrons arrencats per  $\lambda_1$  atès que la seva freqüència,  $2,88 \times 10^{14}$  Hz, està per sota del llindar.

També es pot argumentar que no s'arrencuen electrons per  $\lambda_1$  atès que la seva energia, 1,19 eV, és inferior a  $W_e$ .



**0,25 p** Escalat eixos correcte, punts correctament representats.

**0,25 p** Eixos amb títols i unitats.

Si es representa l'extrapolació de les dades de manera que s'entra en la regió d'energies negatives, llavors es restarà 0,2 p a la qualificació.



### 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 mostri 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:

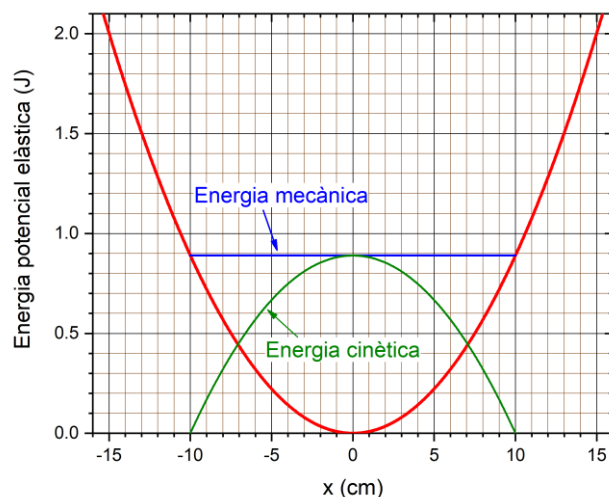
Per  $x = 15 \text{ cm}$ ,  $E = 2 \text{ J} \Rightarrow k = \frac{2E}{x^2} = \frac{2 \cdot 2,0}{0,15^2} = 178 \text{ N/m}$

**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

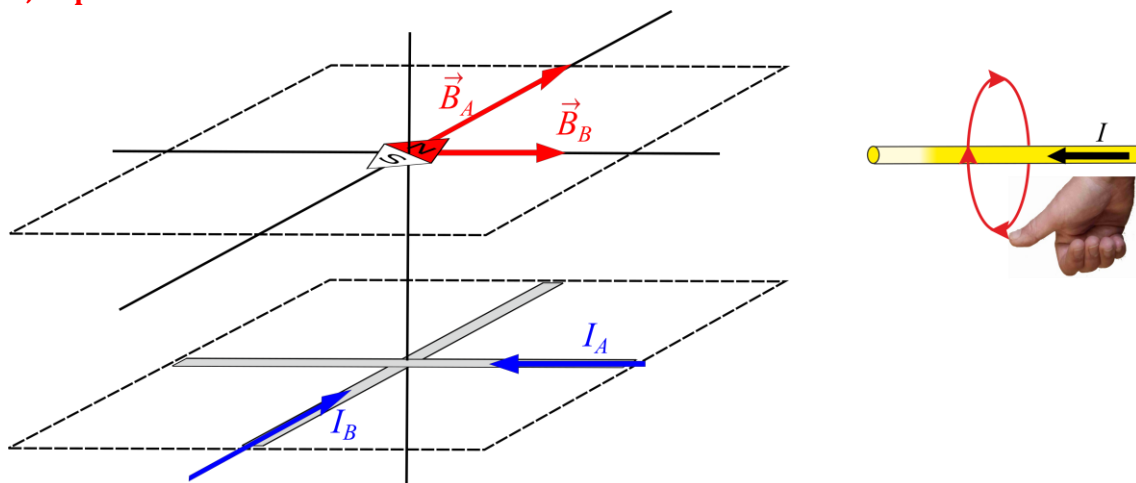
**0,5 p** Cal que s'estableixi que l'energia mecànica és constant.

**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:

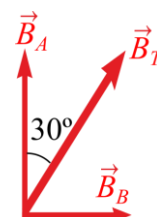
- cal dibuixar els camps perpendiculars als fils i en la direcció indicada en el dibuix,
- el sentit del camp es pot determinar segons la regla de la ma dreta.

**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  $30^\circ$  respecte el fil B, llavors el camp magnètic total fa un angle de  $30^\circ$  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  $\omega = \frac{2\pi}{T} = 4,36 \times 10^{-6} \text{ rad/s}$ .

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

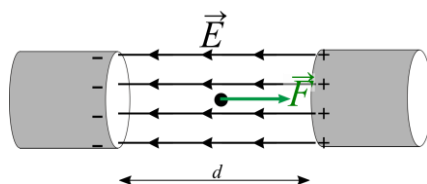
$$\mathbf{0,8 p} \quad r = \sqrt[3]{G \frac{M_J}{\omega^2}} = 1,88 \times 10^9 \text{ m} \quad \mathbf{0,1 p}$$

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

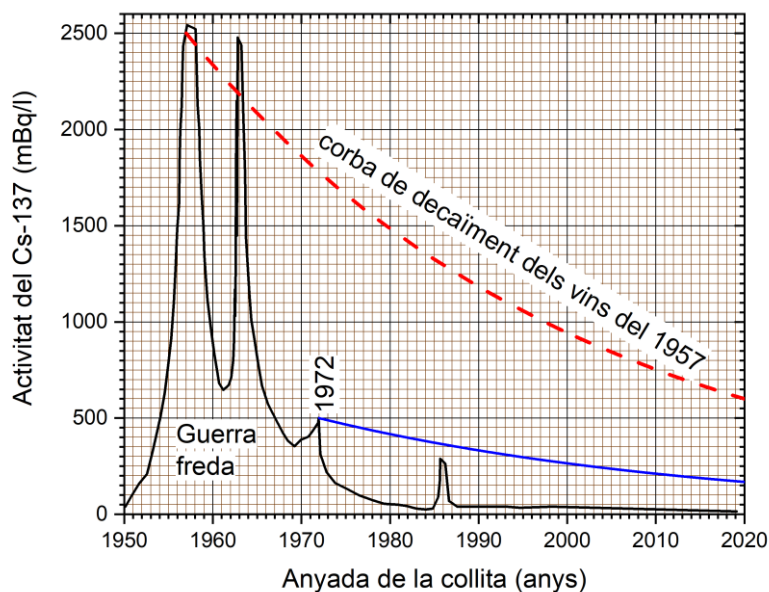
Alternativament

**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:  $A(t) = A_0 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} = 500 \cdot 2^{-\frac{48}{30,6}} = 168 \text{ mBq/l.}$



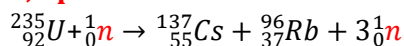


b)

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