

No part of this product may be reproduced in any form or by any electronic or mechanical means, including information storage and retrieval systems, without written permission from the IB.

Additionally, the license tied with this product prohibits commercial use of any selected files or extracts from this product. Use by third parties, including but not limited to publishers, private teachers, tutoring or study services, preparatory schools, vendors operating curriculum mapping services or teacher resource digital platforms and app developers, is not permitted and is subject to the IB's prior written consent via a license. More information on how to request a license can be obtained from <https://ibo.org/become-an-ib-school/ib-publishing/licensing/applying-for-a-license/>.

Aucune partie de ce produit ne peut être reproduite sous quelque forme ni par quelque moyen que ce soit, électronique ou mécanique, y compris des systèmes de stockage et de récupération d'informations, sans l'autorisation écrite de l'IB.

De plus, la licence associée à ce produit interdit toute utilisation commerciale de tout fichier ou extrait sélectionné dans ce produit. L'utilisation par des tiers, y compris, sans toutefois s'y limiter, des éditeurs, des professeurs particuliers, des services de tutorat ou d'aide aux études, des établissements de préparation à l'enseignement supérieur, des fournisseurs de services de planification des programmes d'études, des gestionnaires de plateformes pédagogiques en ligne, et des développeurs d'applications, n'est pas autorisée et est soumise au consentement écrit préalable de l'IB par l'intermédiaire d'une licence. Pour plus d'informations sur la procédure à suivre pour demander une licence, rendez-vous à l'adresse suivante : <https://ibo.org/become-an-ib-school/ib-publishing/licensing/applying-for-a-license/>.

No se podrá reproducir ninguna parte de este producto de ninguna forma ni por ningún medio electrónico o mecánico, incluidos los sistemas de almacenamiento y recuperación de información, sin que medie la autorización escrita del IB.

Además, la licencia vinculada a este producto prohíbe el uso con fines comerciales de todo archivo o fragmento seleccionado de este producto. El uso por parte de terceros —lo que incluye, a título enunciativo, editoriales, profesores particulares, servicios de apoyo académico o ayuda para el estudio, colegios preparatorios, desarrolladores de aplicaciones y entidades que presten servicios de planificación curricular u ofrezcan recursos para docentes mediante plataformas digitales— no está permitido y estará sujeto al otorgamiento previo de una licencia escrita por parte del IB. En este enlace encontrará más información sobre cómo solicitar una licencia: <https://ibo.org/become-an-ib-school/ib-publishing/licensing/applying-for-a-license/>.

**Física**  
**Nivel Superior**  
**Prueba 3**

Jueves 29 de octubre de 2020 (mañana)

Número de convocatoria del alumno

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

1 hora 15 minutos

**Instrucciones para los alumnos**

- Escriba su número de convocatoria en las casillas de arriba.
- No abra esta prueba hasta que se lo autoricen.
- Escriba sus respuestas en las casillas provistas a tal efecto.
- En esta prueba es necesario usar una calculadora.
- Se necesita una copia sin anotaciones del **cuadernillo de datos de Física** para esta prueba.
- La puntuación máxima para esta prueba de examen es **[45 puntos]**.

Sección A	Preguntas
Conteste todas las preguntas.	1 – 2

Sección B	Preguntas
Conteste todas las preguntas de una de las opciones.	
Opción A — Relatividad	3 – 7
Opción B — Física en ingeniería	8 – 12
Opción C — Toma de imágenes	13 – 18
Opción D — Astrofísica	19 – 24



### Sección A

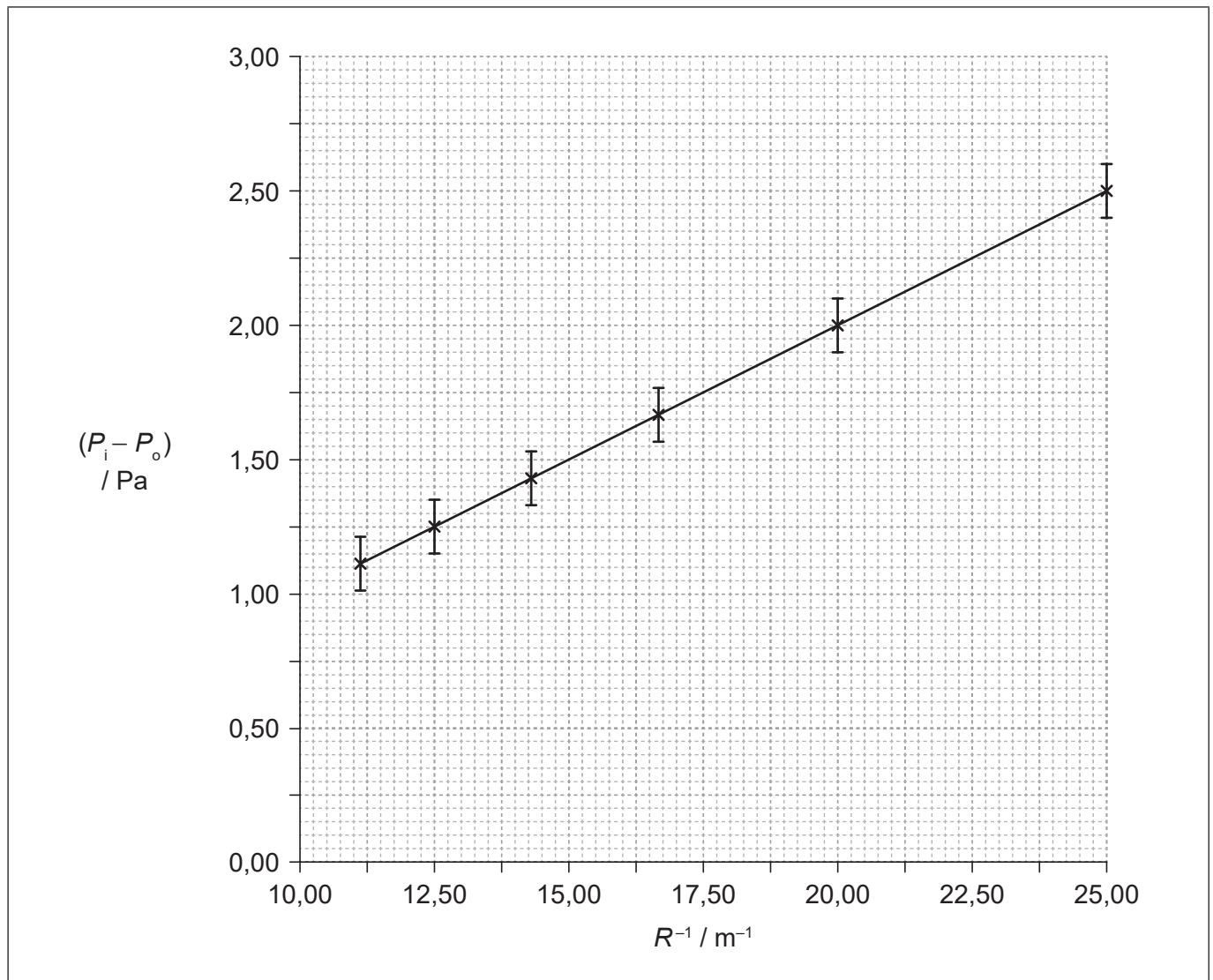
Conteste **todas** las preguntas. Escriba sus respuestas en las casillas provistas a tal efecto.

1. Una pompa esférica de jabón está hecha de una película delgada de agua jabonosa. La pompa tiene una presión interna del aire  $P_i$  y se ha formado en el aire a una presión constante  $P_o$ . La predicción teórica para la variación  $(P_i - P_o)$  viene dada por la ecuación

$$(P_i - P_o) = \frac{4\gamma}{R}$$

donde  $\gamma$  es una constante para la película delgada y  $R$  es el radio de la pompa.

Se recogieron datos de  $(P_i - P_o)$  y  $R$  en condiciones controladas y se representaron gráficamente mostrando la variación de  $(P_i - P_o)$  con  $\frac{1}{R}$ .



(Esta pregunta continúa en la página siguiente)



**(Pregunta 1: continuación)**

(a) Sugiera si los datos son consistentes con la predicción teórica. [2]

.....  
.....  
.....  
.....

(b) (i) Muestre que el valor de  $\gamma$  es aproximadamente 0,03. [2]

.....  
.....  
.....  
.....

(ii) Identifique las unidades fundamentales de  $\gamma$ . [1]

.....

(iii) Para encontrar la incertidumbre de  $\gamma$  se debe dibujar con precisión la línea de máximo gradiente. Dibuje aproximadamente sobre la gráfica la línea de máximo gradiente para los datos. [1]

(iv) La incertidumbre en porcentaje para  $\gamma$  es 15%. Indique  $\gamma$  con su incertidumbre absoluta. [2]

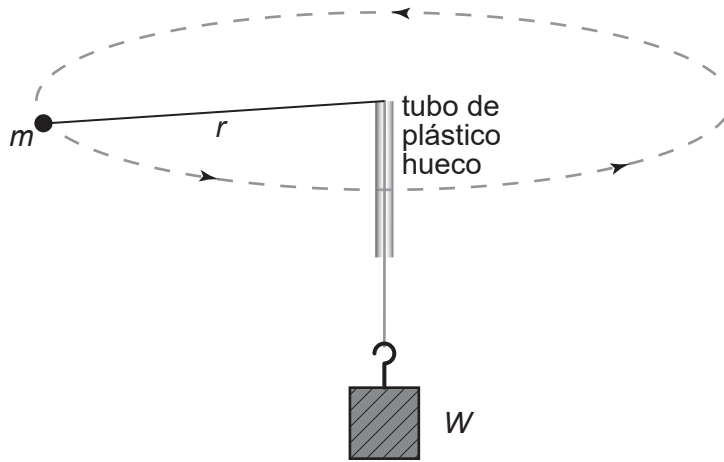
.....  
.....

(v) El valor esperado para  $\gamma$  es 0,027. Comente su resultado. [1]

.....  
.....



2. Un alumno estudia la relación entre la fuerza centrípeta aplicada a un objeto que realiza un movimiento circular y su periodo  $T$ . El objeto, de masa  $m$ , está unido a un peso  $W$  que pende verticalmente por medio de una cuerda ligera e inextensible que pasa por un tubo. La cuerda puede moverse libremente por el tubo. El alumno hace oscilar la masa en una trayectoria circular y horizontal, ajustando el periodo del movimiento  $T$  hasta que el radio  $r$  sea constante. El radio del círculo y la masa del objeto se miden y permanecen constantes durante todo el experimento.



El alumno lleva a cabo cinco mediciones del periodo  $T$ , para el peso  $W$ . Se duplica el peso ( $2W$ ) y se repite la obtención de datos. A continuación, se vuelve a repetir para  $3W$  y  $4W$ . Se espera que los resultados se ajusten a la relación

$$W = \frac{4\pi^2 mr}{T^2}.$$

- (a) Indique por qué se repite el experimento con valores diferentes de  $W$ . [1]

.....

.....

En realidad, hay rozamiento en el sistema, por lo que  $W$  es menor que la fuerza centrípeta en el sistema. Para determinar experimentalmente el valor de  $mr$  se trazó una gráfica apropiada. También se calculó directamente el valor de  $mr$  a partir de los valores medidos de  $m$  y  $r$ .

- (b) Prediga, a partir de la ecuación, si el valor de  $mr$  encontrado experimentalmente será mayor, igual o menor que el valor de  $mr$  calculado directamente. [2]

.....

.....

.....

.....

(Esta pregunta continúa en la página siguiente)



**(Pregunta 2: continuación)**

- (c) (i) Las mediciones de  $T$  se repitieron cinco veces. Explique cómo la repetición de las mediciones de  $T$  reduce el error aleatorio en el valor experimental final de  $m_r$ . [2]

.....

.....

.....

.....

- (ii) Resuma por qué repetir las mediciones de  $T$  no reduce el error sistemático en  $T$ . [1]

.....

.....



### Sección B

Conteste **todas** las preguntas de **una** de las opciones. Escriba sus respuestas en las casillas provistas a tal efecto.

#### Opción A — Relatividad

3. (a) Las ecuaciones de Maxwell conducen al carácter constante de la velocidad de la luz. Identifique qué describen las ecuaciones de Maxwell. [1]

.....  
.....

- (b) Indique un postulado que sea igual tanto en la relatividad especial como en la relatividad galileana. [1]

.....  
.....

- (c) Dos cables paralelos portadores de corriente mantienen iguales corrientes en el mismo sentido. Entre los cables hay una fuerza atractiva.  
(i) Identifique la naturaleza de la fuerza atractiva constatada por un observador estacionario con respecto a los cables. [1]

.....

- (ii) Un segundo observador se mueve con la velocidad de desplazamiento de la corriente de electrones en los cables. Discuta cómo este observador da cuenta de la fuerza entre los cables. [3]

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

(La opción A continúa en la página siguiente)

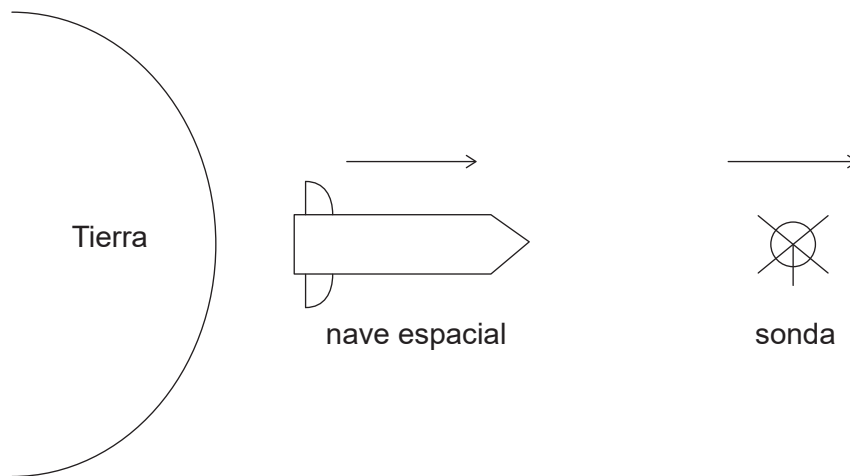


**(Opción A: continuación)**

4. (a) Las transformaciones de Lorentz presuponen que la velocidad de la luz es constante. Resuma lo que presuponen las transformaciones galileanas. [1]

.....  
.....

- (b) Una nave espacial está viajando a  $0,80c$ , alejándose de la Tierra. Lanza una sonda alejándose de la Tierra, a  $0,50c$  respecto a la nave espacial. Un observador en la sonda determina que la longitud de la sonda es de  $8,0\text{m}$ .



- (i) Deduzca la longitud de la sonda tal y como la mide un observador en la nave espacial. [2]

.....  
.....  
.....  
.....

- (ii) Explique cuál de las longitudes es la longitud propia. [2]

.....  
.....  
.....  
.....

**(La opción A continúa en la página siguiente)**





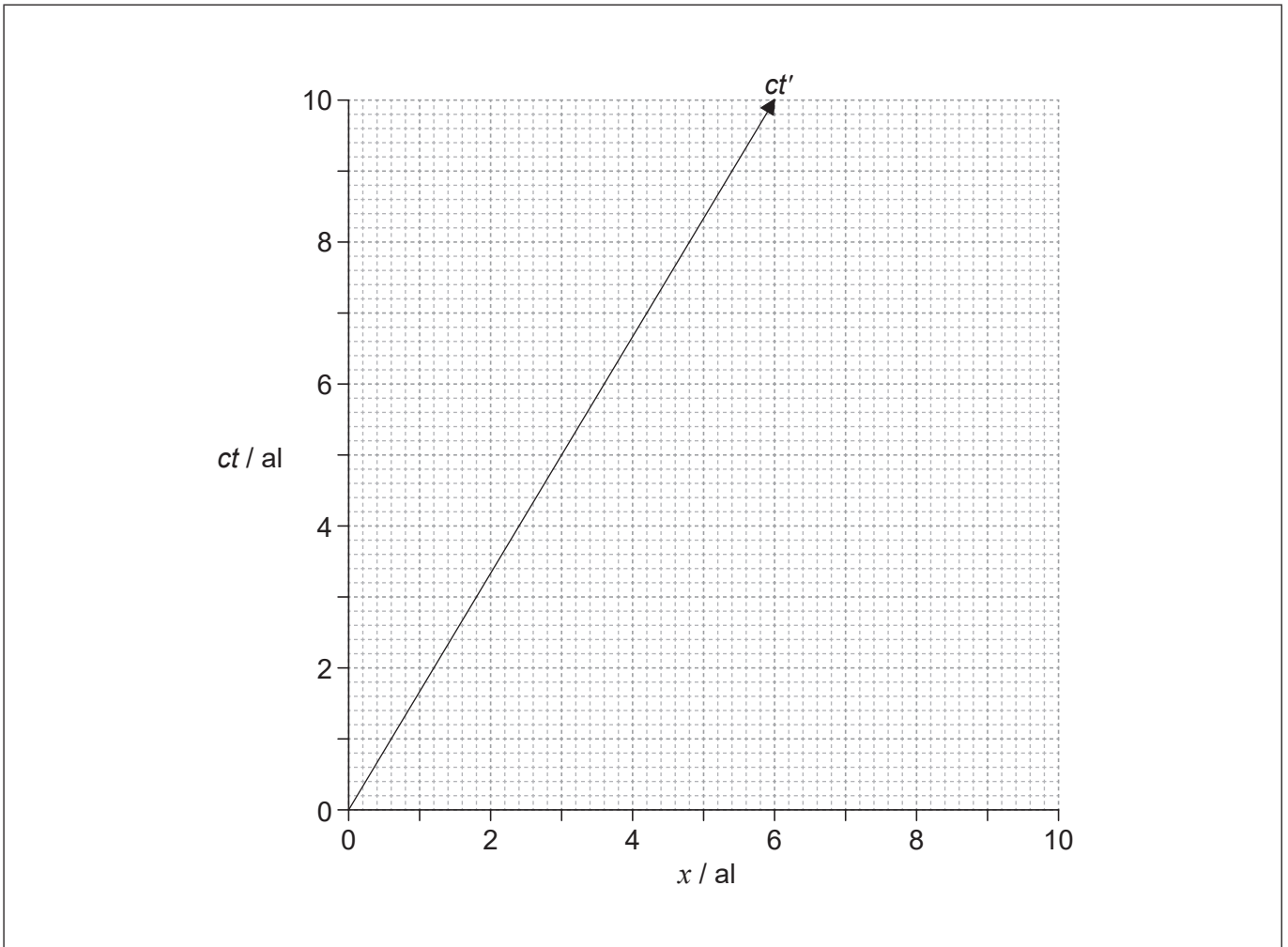
**(Continuación: opción A, pregunta 4)**

(c) Calcule la rapidez de la sonda respecto a la Tierra, en términos de  $c$ .

[2]

.....  
.....  
.....  
.....

5. El diagrama de espacio-tiempo corresponde al sistema de referencia de un observador O en la Tierra. El observador O y la nave espacial A están en el origen del diagrama de espacio-tiempo en el instante  $t = t' = 0$ . Se muestra la línea de universo de la nave espacial A.



**(La opción A continúa en la página siguiente)**



**(Continuación: opción A, pregunta 5)**

- (a) (i) Calcule en términos de  $c$  la velocidad de la nave espacial A respecto al observador O. [1]

.....

.....

- (ii) Dibuje con precisión el eje  $x'$  del sistema de referencia de la nave espacial A. [1]

(b) El suceso E consiste en la emisión de un destello de luz. El observador O ve la luz del destello cuando  $t = 9$  años y calcula que el suceso E está alejado 4 al, en el sentido positivo de  $x$ .

- (i) Sitúe el suceso E sobre el diagrama de espacio-tiempo y rotúlelo E. [2]

- (ii) Determine, según la nave espacial A, el instante en que la luz del suceso E se observó en la nave espacial A. [3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**(La opción A continúa en la página siguiente)**



**(Opción A: continuación)**

6. Un núcleo de deuterio, ( ${}^2_1\text{H}$ ) (masa en reposo 2,014 u), se acelera por una diferencia de potencial de  $2,700 \times 10^2$  MV.

(a) Defina masa en reposo.

[1]

.....  
.....

(b) Calcule la energía total de la partícula de deuterio en MeV.

[2]

.....  
.....  
.....  
.....

(c) En las reacciones relativistas la masa de los productos puede ser menor que la masa de los reactivos. Sugiera qué sucede a la masa que falta.

[2]

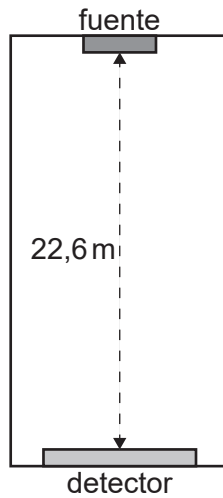
.....  
.....  
.....  
.....

**(La opción A continúa en la página siguiente)**



**(Opción A: continuación)**

7. En el experimento de Pound–Rebka–Snider, realizado en una torre en la Tierra, una fuente de rayos gamma se situó a 22,6 m verticalmente por encima de un detector de rayos gamma.



- (a) Calcule la variación fraccional en la frecuencia de los rayos gamma en el detector. [1]

.....  
.....

- (b) Explique la causa del cambio de frecuencia de los rayos gamma de su respuesta a (a)  
(i) en el campo gravitatorio de la Tierra. [2]

.....  
.....  
.....  
.....

- (ii) si la torre y el detector estuvieran acelerando **hacia** los rayos gamma en el espacio libre. [2]

.....  
.....  
.....  
.....

**Fin de la opción A**

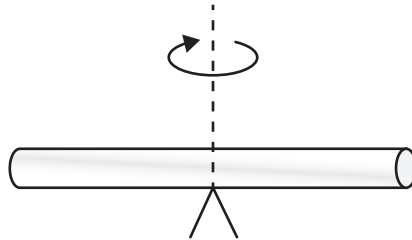


32EP11

**Véase al dorso**

**Opción B — Física en ingeniería**

8. Una barra gira horizontalmente alrededor de su centro, alcanzando su velocidad angular máxima al cabo de seis revoluciones completas desde el reposo. La barra tiene una aceleración angular constante de  $0,110 \text{ rad s}^{-2}$ . El momento de inercia de la barra alrededor del eje de rotación es  $0,0216 \text{ kg m}^2$ .



- (a) Mostrar que la velocidad angular final de la barra es de aproximadamente  $3 \text{ rad s}^{-1}$ . [2]

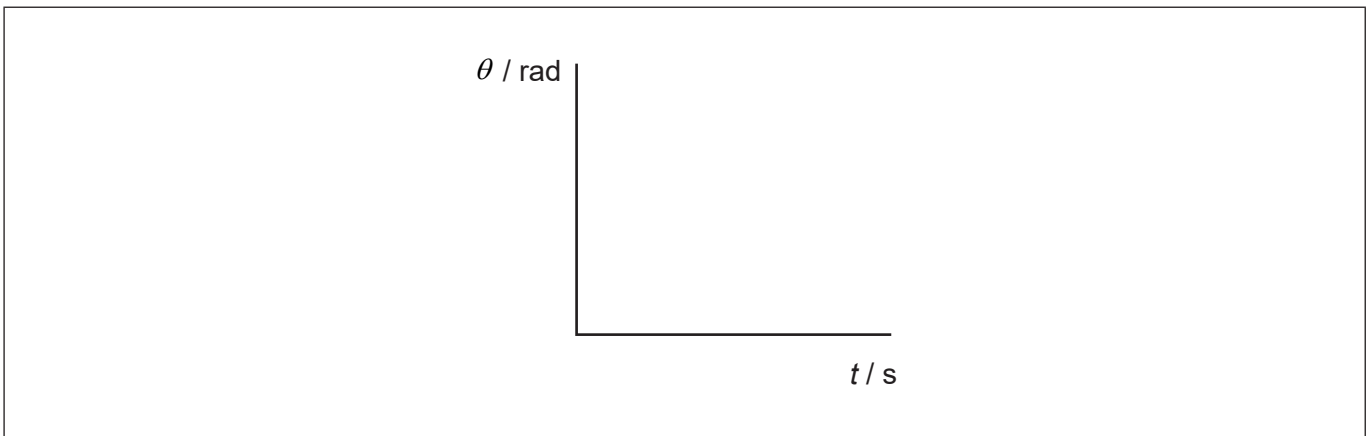
.....

.....

.....

.....

- (b) Dibujar con precisión la variación con el tiempo  $t$  del desplazamiento angular de la barra  $\theta$  durante la aceleración. [1]



- (c) Calcule el momento de fuerzas que actúa sobre la barra mientras está acelerando. [1]

.....

.....

(La opción B continúa en la página siguiente)



**(Continuación: opción B, pregunta 8)**

- (d) Se suprime el momento de fuerzas. La barra alcanza el reposo al cabo de 30 rotaciones completas, con deceleración angular constante. Determine el tiempo que tarda la barra en llegar al reposo. [2]

.....

.....

.....

.....

**(La opción B continúa en la página siguiente)**

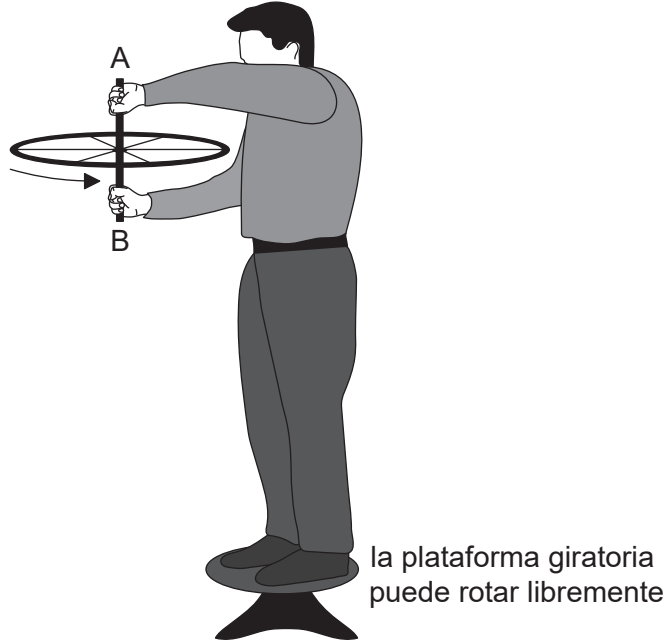


32EP13

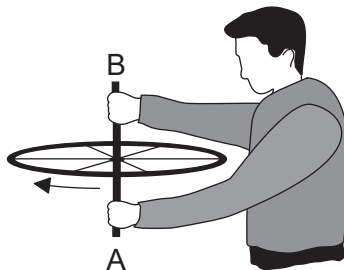
**Véase al dorso**

**(Opción B: continuación)**

9. El diagrama muestra a una persona situada sobre una plataforma giratoria que puede rotar libremente. La persona permanece estacionaria y sostiene una rueda de bicicleta. La rueda gira en sentido antihorario, cuando se observa desde arriba.



La rueda se voltea, como se muestra en el segundo diagrama, de modo que rota en el sentido horario cuando se observa desde arriba.



- (a) Explique el sentido en el cual empieza a girar el sistema persona-plataforma giratoria. [3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**(La opción B continúa en la página siguiente)**



**(Continuación: opción B, pregunta 9)**

- (b) Explique los cambios en la energía cinética de rotación en el sistema persona-plataforma giratoria. [2]

.....

.....

.....

.....

10. Una esfera sólida de radio  $r$  y masa  $m$  se suelta desde el reposo y rueda sin deslizar hacia abajo de una pendiente. La altura vertical de la pendiente es  $h$ . El momento de inercia  $I$  de la esfera alrededor del eje que pasa por su centro es  $\frac{2}{5}mr^2$ .



Muestre que la velocidad lineal  $v$  de la esfera cuando abandona la pendiente es  $\sqrt{\frac{10gh}{7}}$ . [3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

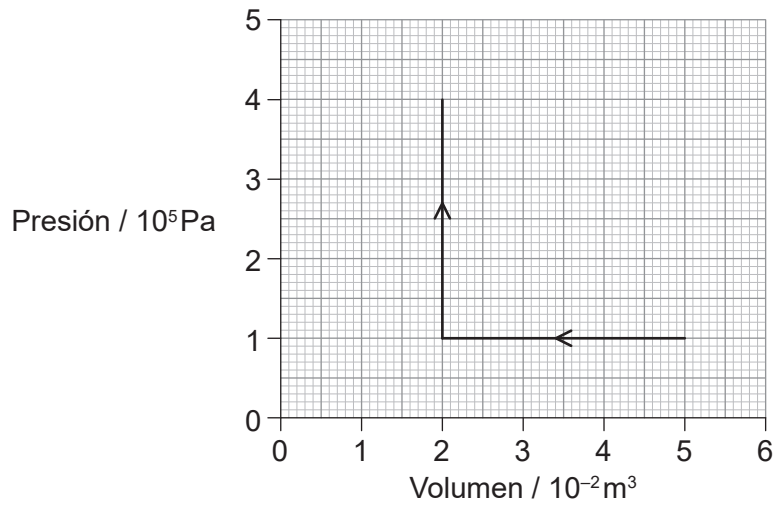
**(La opción B continúa en la página siguiente)**





**(Opción B: continuación)**

11. El diagrama representa un gas ideal, monoatómico que primero experimenta una compresión y luego un aumento de presión.



(a) Calcule el trabajo efectuado durante

(i) la compresión.

[1]

.....  
.....

(ii) el aumento de presión.

[1]

.....  
.....

(b) A continuación, un proceso adiabático aumenta el volumen del gas hasta  $5,0 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ .

(i) Calcule la presión después de este proceso.

[2]

.....  
.....  
.....  
.....

**(La opción B continúa en la página siguiente)**



**(Continuación: opción B, pregunta 11)**

(ii) Resuma cómo se puede conseguir un cambio aproximadamente adiabático. [2]

.....  
.....  
.....  
.....

**12.** (a) Indique **dos** propiedades de un fluido ideal. [2]

.....  
.....

(b) Se deja caer una esfera en un recipiente con aceite.  
Se dispone de los siguientes datos:

- Densidad del aceite =  $915 \text{ kg m}^{-3}$
- Viscosidad del aceite =  $37,9 \times 10^{-3} \text{ Pa s}$
- Volumen de la esfera =  $7,24 \times 10^{-6} \text{ m}^3$
- Masa de la esfera = 12,6 g

Determine la velocidad terminal de la esfera. [3]

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**(La opción B continúa en la página siguiente)**



**(Continuación: opción B, pregunta 12)**

(c) A continuación, la esfera se suspende de un resorte de modo que la esfera permanece por debajo de la superficie del aceite.

(i) Determine la fuerza que ejerce el resorte sobre la esfera, cuando la esfera está en reposo. [2]

.....  
.....  
.....  
.....

(ii) La esfera oscila verticalmente dentro del aceite con la frecuencia natural del sistema esfera-resorte. La energía se reduce en cada ciclo un 10%. Calcule el factor Q del sistema. [1]

.....  
.....

(iii) Resuma el efecto que tendrá sobre Q el cambio del aceite por otro de mayor viscosidad. [2]

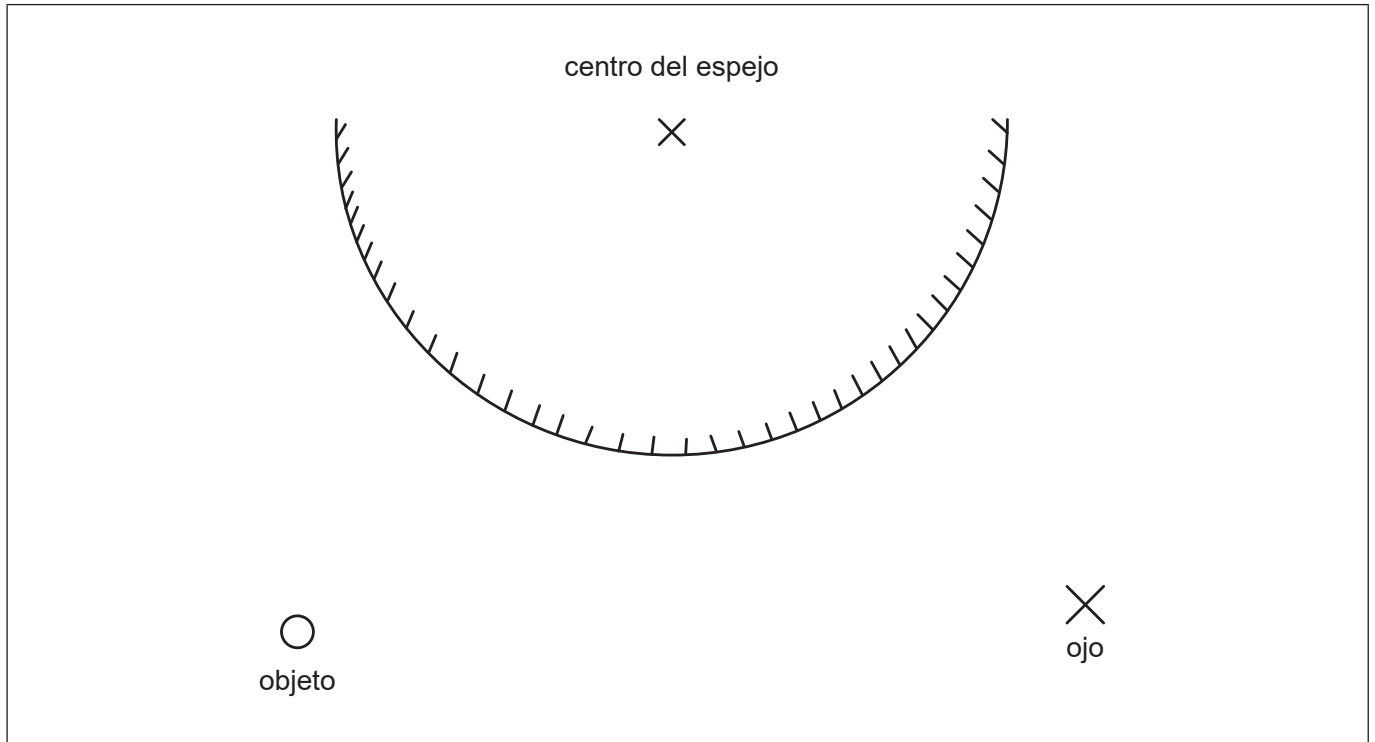
.....  
.....  
.....  
.....

**Fin de la opción B**



**Opción C — Toma de imágenes**

13. El diagrama representa un espejo divergente que se utiliza para ver un objeto.



- (a) Elabore un único rayo que muestre una trayectoria de la luz entre el ojo, el espejo y el objeto, para ver el objeto. [2]
- (b) La imagen observada es virtual. Resuma el significado de imagen virtual. [1]

.....

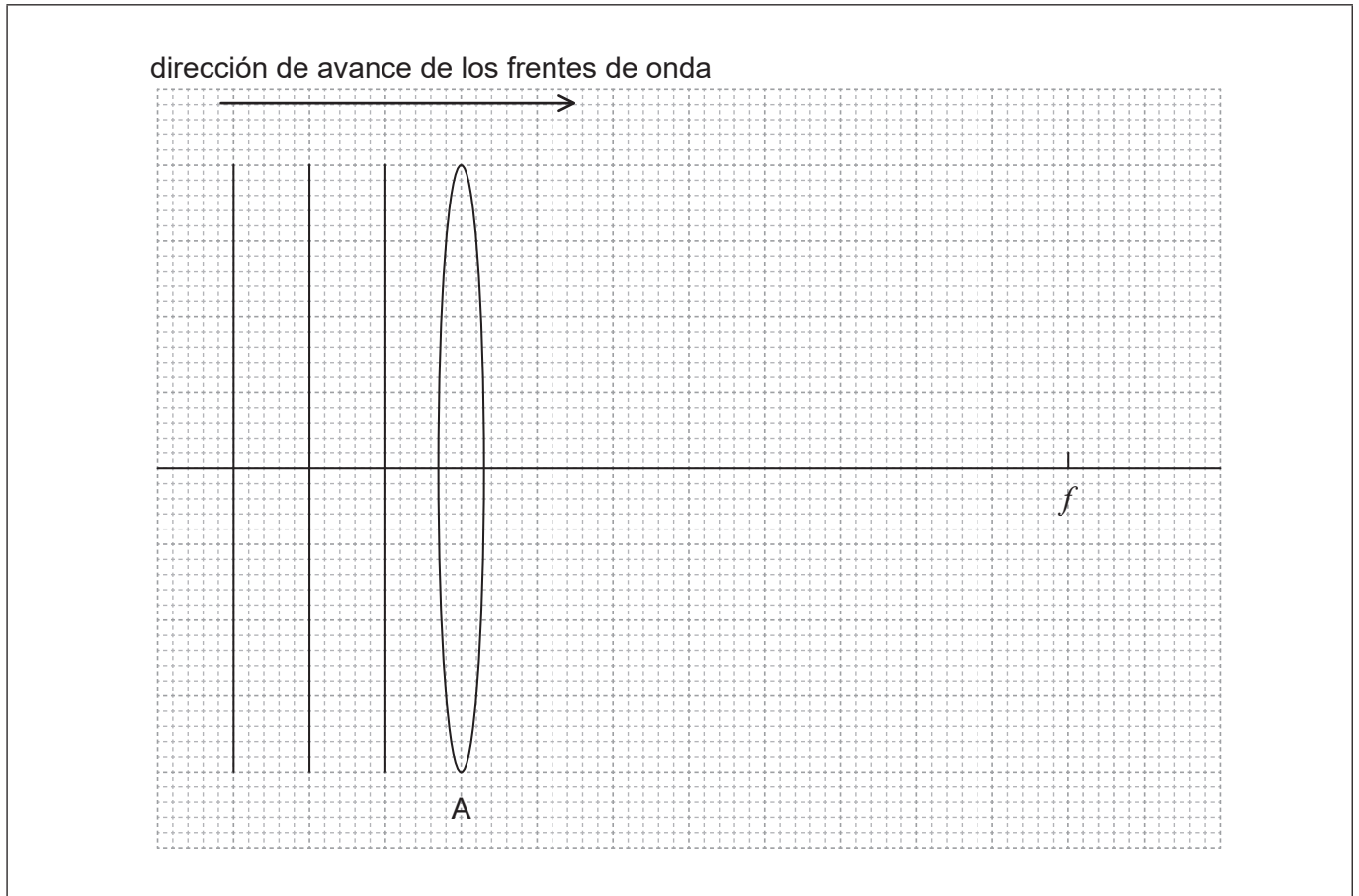
.....

**(La opción C continúa en la página siguiente)**



**(Opción C: continuación)**

14. Un haz de luz monocromática procedente del infinito incide sobre una lente convergente A. El diagrama muestra tres frentes de onda de la luz y el punto focal  $f$  de la lente.



- (a) Dibuje con precisión sobre el diagrama los tres frentes de onda, después de que hayan atravesado la lente. [2]
- (b) La lente A tiene una longitud focal de 4,00 cm. Un objeto se sitúa 4,50 cm a la izquierda de A. Muestre, calculándolo, que una pantalla debería situarse a aproximadamente 0,4 m de A para presentar una imagen enfocada. [2]

.....

.....

.....

.....

**(La opción C continúa en la página siguiente)**



**(Continuación: opción C, pregunta 14)**

- (c) Se quita la pantalla y la imagen se utiliza como objeto de una segunda lente divergente B, para formar la imagen final. La lente B tiene una longitud focal de 2,00 cm y la imagen final real está a 8,00 cm de la lente. Calcule la distancia entre la lente A y la lente B. [3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- (d) Calcule el aumento total del objeto debido a la combinación de lentes. [2]

.....

.....

.....

.....

**(La opción C continúa en la página siguiente)**



32EP21

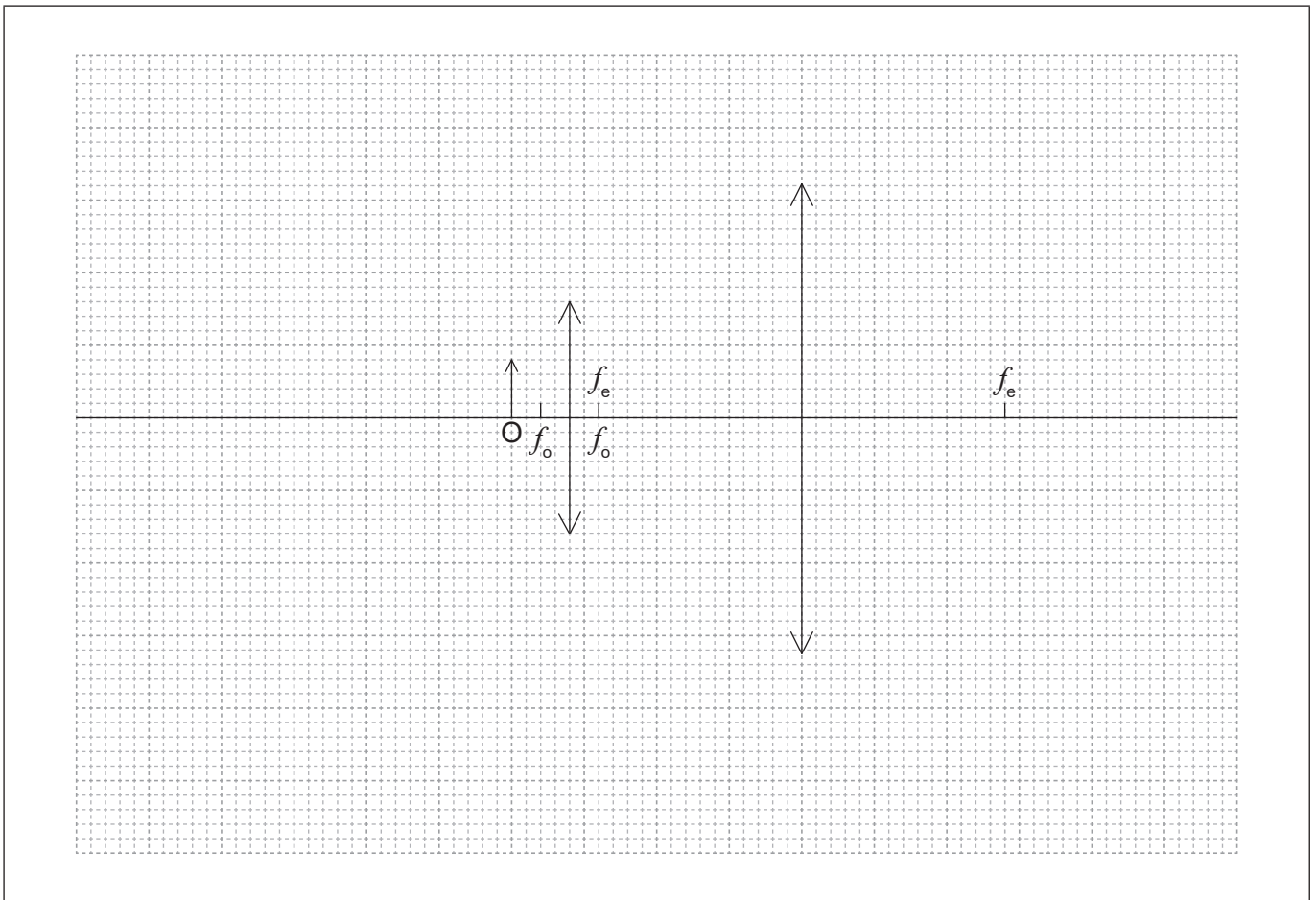
**Véase al dorso**

**(Opción C: continuación)**

15. (a) Resuma el significado de ajuste normal para un microscopio compuesto. [1]

.....  
.....

(b) Dibuje aproximadamente un diagrama de rayos para encontrar la posición de las imágenes para ambas lentes en el microscopio compuesto en ajuste normal. El objeto está en O y se muestran las longitudes focales del objetivo y del ocular. [4]



**(La opción C continúa en la página siguiente)**



**(Opción C: continuación)**

16. Un solo pulso de luz entra en una fibra óptica que contiene una pequeña cantidad de impurezas que dispersan la luz. Explique los efectos de esas impurezas sobre el pulso. [3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

17. La fotografía muestra la imagen de rayos X de una mano.



- (a) Explique cómo la atenuación ocasiona el contraste entre el tejido blando y el hueso en la imagen. [3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**(La opción C continúa en la página siguiente)**



**Véase al dorso**



**(Continuación: opción C, pregunta 17)**

- (b) Las imágenes de rayos X de otras partes del cuerpo necesitan mejorar el contraste. Indique **una** técnica utilizada para mejorar el contraste en las imágenes médicas de rayos X. [1]

.....

.....

- 18. (a) Explique la causa de las emisiones de radiofrecuencia del cuerpo de un paciente durante la toma de imágenes por resonancia magnética nuclear (RMN). [3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- (b) Resuma cómo un campo de gradiente permite utilizar la RMN en la captación médica de imágenes por resonancia. [2]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- (c) Identifique **una** ventaja de la RMN sobre los ultrasonidos en situaciones médicas. [1]

.....

.....

**Fin de la opción C**



**Opción D — Astrofísica**

19. (a) La unidad astronómica (UA) y el año luz (al) son medidas apropiadas de distancia en astrofísica. Defina cada unidad. [2]

UA: .....

.....

al: .....

.....

(b) Se muestra la imagen de un cometa.



(i) Los cometas desarrollan una cola cuando se aproximan al Sol. Identifique **otra** característica de los cometas. [1]

.....

(ii) Identifique en la imagen **un** objeto visible situado fuera de nuestro sistema solar. [1]

.....

**(La opción D continúa en la página siguiente)**



32EP25

**Véase al dorso**

**(Opción D: continuación)**

20. (a) Muestre que el brillo aparente  $b \propto \frac{AT^4}{d^2}$  donde  $d$  es la distancia del objeto a la Tierra,  $T$  es la temperatura superficial del objeto y  $A$  es el área superficial del objeto. [1]

.....

.....

- (b) Dos de los objetos más brillantes del cielo nocturno visible desde la Tierra son el planeta Venus y la estrella Sirio. Explique por qué la ecuación  $b \propto \frac{AT^4}{d^2}$  es aplicable a Sirio, pero no a Venus. [2]

.....

.....

.....

.....

21. (a) La luz procedente de una galaxia distante muestra que  $z = 0,11$ .  
 Calcule el cociente  $\frac{\text{tamaño del universo cuando se emiti\u00f3 la luz}}{\text{tama\u00f1o del universo actualmente}}$ . [1]

.....

.....

- (b) Resuma c\u00f3mo la ley de Hubble se relaciona con  $z$ . [1]

.....

.....

**(La opci\u00f3n D contin\u00faa en la p\u00e1gina siguiente)**



**(Continuación: opción D, pregunta 21)**

- (c) Inicialmente, Hubble vinculó el corrimiento al rojo galáctico con un efecto Doppler que surge de la recesión galáctica. Actualmente, la ley de Hubble se considera debida al corrimiento al rojo cosmológico y no al efecto Doppler. Explique en términos cosmológicos el corrimiento al rojo galáctico observado. [3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

22. Los datos de la estrella Eta Aquilae A aparecen en la siguiente tabla.

	Valor
Luminosidad media	2630 $L_{\odot}$
Masa	5,70 $M_{\odot}$
Ángulo de paralaje	$2,36 \times 10^{-3}$ arcsec
Brillo aparente	$7,20 \times 10^{-10}$ $Wm^{-2}$

$L_{\odot}$  es la luminosidad del Sol y  $M_{\odot}$  es la masa del Sol.

- (a) Muestre mediante un cálculo que Eta Aquilae A no se encuentra en la secuencia principal. [2]

.....

.....

.....

.....

**(La opción D continúa en la página siguiente)**



**(Continuación: opción D, pregunta 22)**

(b) Estime, en pc, la distancia a Eta Aquilae A

(i) utilizando el ángulo de paralaje de la tabla.

[1]

.....

.....

(ii) utilizando la luminosidad de la tabla, con  $L_{\odot} = 3,83 \times 10^{26} \text{ W}$ .

[3]

.....

.....

.....

.....

(c) Sugiera por qué sus respuestas a (b)(i) y (b)(ii) son diferentes.

[2]

.....

.....

.....

.....

(d) Eta Aquilae A es una cefeida variable. Explique por qué varía el brillo de Eta Aquilae A.

[3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**(Option D continues on the following page)**



**(Continuación: opción D, pregunta 22)**

- (e) Eta Aquilae A estuvo en la secuencia principal antes de llegar a ser una estrella variable. Compare, sin realizar cálculos, el tiempo que Eta Aquilae A pasó en la secuencia principal con el tiempo total que se espera pase el Sol en la secuencia principal. [2]

.....

.....

.....

.....

- 23.** En 2017, se observó que dos estrellas de neutrones se fundían formando un agujero negro. El material liberado incluía elementos químicos producidos por el proceso r de captura de neutrones. Describa **dos** características de los elementos producidos por el proceso r. [2]

.....

.....

.....

.....

**(La opción D continúa en la página siguiente)**



**(Opción D: continuación)**

**24.** Se observa que la radiación cósmica de fondo de microondas (CMB) tiene anisotropías.

(a) Indique la naturaleza de las anisotropías observadas en la radiación CMB. [1]

.....  
.....

(b) Identifique **dos** posibles causas de las anisotropías de (a). [2]

.....  
.....  
.....  
.....

**Fin de la opción D**

---



**Fuentes:**

- Q2.** © Organización del Bachillerato Internacional, 2020.
- Q9.** © Organización del Bachillerato Internacional, 2020.
- Q17.** © Organización del Bachillerato Internacional, 2020.
- Q19.** Cometa P / Halley, tomada el 8 de marzo de 1986 por W. Liller, Isla de Pascua, parte de la red de fenómenos a gran escala del International Halley Watch (IHW).



32EP31



**No** escriba en esta página.

Las respuestas que se escriban en esta página no serán corregidas.



32EP32