

Respuestas a las preguntas de examen de los Capítulos 13 a 16

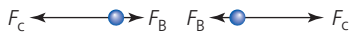
13 Relatividad

Hoja 3

1 a



b



- c Según la física newtoniana, una estrella que se aleja de nosotros debe emitir luz que viaja más despacio que la velocidad de la luz en el vacío. Una estrella que se mueve hacia nosotros debe emitir luz que viaja más rápido que la velocidad de la luz en el vacío.

La única alternativa que ofrece la física clásica es que la luz viaje a través de un medio denominado «éter», pero las pruebas experimentales sugieren que este medio no existe.

- 2 a Un sistema/conjunto de coordenadas de reglas/relojes en el que se puedan realizar medidas de la distancia/posición y el tiempo.

b i 1,25c

ii $1,25c/(1 + 0,25)$ demuestra que el cociente = c

- c La luz viaja a la misma velocidad para ambos observadores. Durante el tiempo de tránsito, el oficial Sylvester se mueve hacia el punto de emisión delante/detrás del punto de emisión posterior. La luz delantera llega primero porque la distancia es menor/la luz trasera llega más tarde porque la distancia es mayor. El oficial Sylvester observa que la lámpara delantera parpadea primero.

o

El tiempo que tardan las luces en llegar a Speedy es cero (según Speedy) – (se trata del tiempo propio) por tanto Sylvester (y, evidentemente, todos los observadores inerciales) ve que las luces llegan a Speedy simultáneamente. La lámpara delantera se aleja de Speedy (según Sylvester). La velocidad de la luz es constante para todos los observadores. La luz procedente de la lámpara delantera tiene que viajar más para llegar a Speedy y, por tanto, debe haber parpadeado primero (según Sylvester).

- d i Los dos sucesos ocurren en el mismo lugar (en el mismo sistema de referencia)/el tiempo medido es menor.

ii $1,39 \times 10^{-8}$ s

- 3 a i (Un sistema de referencia) en el que se cumple la primera ley de Newton/que no se acelera/que se mueve a velocidad constante.
ii La velocidad de la luz en el vacío/el espacio vacío es el mismo para todos los observadores inerciales.
b La señal procedente del interruptor viaja a la misma velocidad c hacia cada lámpara, pero durante la transferencia de la señal C_1 se acerca/ C_2 se aleja de la fuente de la señal. Como la velocidad de la luz es independiente de la velocidad de la fuente, la señal llega antes a C_1 que a C_2 /a C_2 después que a C_1 . Según

Vladimir, C_1 registra la llegada de la señal antes que C_2 / C_2 registra la llegada de la señal después que C_1 .

c i 1,4m

ii Natasha. La longitud propia se define como la longitud del objeto medida por el observador en reposo respecto al objeto.

- d i Respecto al regreso del gemelo viajero según el gemelo que se queda en la Tierra, el gemelo viajero habrá envejecido muy poco comparado con él/ella. Sin embargo, como la dilatación del tiempo es simétrica, podría ser el gemelo terrestre el que hubiera experimentado el menor envejecimiento. El experimento sugiere que el gemelo que menos envejece es el gemelo viajero.

ii Porque la situación no es simétrica como consecuencia de la aceleración experimentada por el gemelo viajero/el gemelo viajero no se encuentra en el mismo sistema de referencia inercial/porque se cambia el sistema de referencia inercial.

e i 890 m

ii 3200m

- f Si utilizamos la semivida del laboratorio, la mayoría de muones se habrían desintegrado antes de llegar a la Tierra. Sin embargo, se detectan muchos muones en la superficie, lo que indica que la semivida se ha dilatado/para los muones, la distancia recorrida se ha contraído.

4 a S' (marcado con un 1)

b S' . Este observador registra que los dos sucesos ocurren en el mismo lugar.

- c El intervalo de espacio-tiempo entre los dos sucesos es el mismo para ambos observadores.

$$(\Delta s)^2 = c^2(\Delta t)^2 - (\Delta x)^2 = c^2(\Delta t')^2 - (\Delta x')^2$$

Pero $\Delta x' = 0$ mientras que $\Delta x \neq 0$ por tanto $\Delta t' \neq \Delta t$

d $\tan 15^\circ \times c = 0,268c$

e 2,1 μ s

- f El ángulo de las líneas de mundo del fotón es 45° . Comienzan en el suceso 2 y forman 90° entre sí.

5 a El espacio-tiempo es la unificación de las dimensiones espacio y tiempo en un único concepto porque en relatividad ninguna es independiente de la otra.

- b Los sucesos 0 y 1 son simultáneos en el sistema de referencia B, pero no así en el sistema A. La razón de ello es que los sucesos no ocurren en el mismo lugar y como los dos sistemas de referencia se encuentran en movimiento relativo, los tiempos en los que ocurren los sucesos se observarán de forma distinta.

c 0,42c

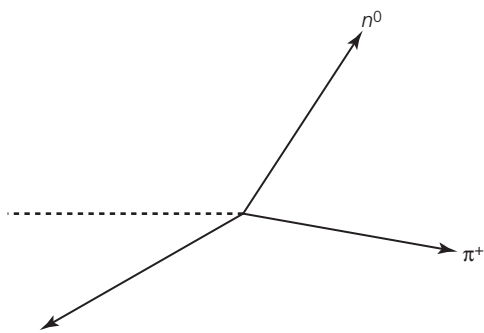
- d 0,14c. Según A, en la misma dirección y sentido que el observador B/signo positivo.

e La línea de mundo se dibuja como una línea recta desde el origen y formando unos 10° con el eje ct.

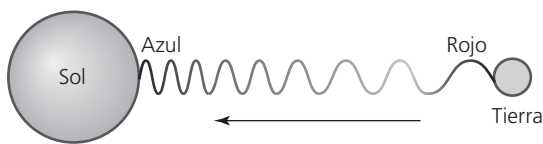
6 a $v = 0,653c$

- b $p = 809$ MeV. Los protones se aceleran a continuación en dos haces que viajan en sentidos opuestos alrededor del anillo y se aceleran hasta una velocidad de $0,97c$ antes de colisionar.

- c La línea de mundo oscila hacia delante y atrás con periodo constante y es simétrica respecto a una línea vertical. El gradiente de la línea de mundo nunca es inferior a 45° .
- d $E = 7,71 \text{ GeV}$
- e $u' = 0,9995c$
- 7 a Partícula A: la energía total es la energía de la masa en reposo.
Partícula B: la energía total es la energía de la masa en reposo más la energía cinética.
- b i $0,999c$
ii $3,35 \text{ GeV}$
- c i energía antes de la colisión = $6,70 \text{ GeV}$
energía de $p + n = 6,20 \text{ GeV}$
ii $p = 482 \text{ MeV c}^{-1}$
- d



- 8 a Según la relatividad, el intervalo de tiempo entre dos sucesos será mayor para observadores situados en sistemas de referencia donde los dos sucesos ocurren separados en el tiempo/se mueven más rápido con respecto a los sucesos.
- b i $1,47 \times 10^{-5} \text{ c}$
ii Es $1,1 \times 10^{-10}$ mayor que 1,
- c $9,50 \times 10^{-6} \text{ s}$
- d



La luz parece ganar energía a medida que desciende a través del campo gravitatorio, produciéndose un desplazamiento hacia el azul. El motivo es porque el tiempo se ralentiza en un campo gravitatorio más intenso.

- e i $1,53 \times 10^{-9} \text{ s}$ más rápido por segundo
ii $1,32 \times 10^{-4} \text{ s}$ más rápido por segundo
- 9 a i El centro es un punto individual hacia el que se colapsa toda la masa. La superficie es donde la velocidad de escape es igual a c . En el interior de esta superficie, la masa «desaparece» del universo.
ii La distancia desde el punto de singularidad del horizonte de sucesos.
iii $R_{\text{SCH}} = 3,0 \times 10^4 \text{ m}$
iv A 10^7 km el espacio no está curvado, por tanto se pueden aplicar las leyes de Newton.
- b La teoría sugiere que la luz sufre el efecto de los campos gravitatorios (*más diagramas o términos para explicar la formación de las dos imágenes*).

14 Física para la ingeniería

Hoja 3

- 1 a Un objeto se encuentra en equilibrio rotatorio cuando permanece inmóvil o continúa rotando con velocidad angular constante.
b 23 N
c $4,6 \text{ s}$
d La flecha debe apuntar hacia (o desde) Q en sentido horario. Debe tener una longitud (aproximada) tal que proporcione un momento de torsión de igual módulo y sentido opuesto al que actúa sobre P. La longitud debe ser muy superior al doble de la longitud de F. La dirección no es importante, pero el vector tendrá la longitud más corta cuando los puntos sean perpendiculares al segmento PQ.
- 2 a El momento de inercia de un objeto depende de la distribución de masa alrededor del eje de rotación. Una esfera hueca debe tener más masa a una mayor distancia del eje (que una esfera sólida).
b Ambas esferas parten de la misma energía potencial gravitatoria, que a continuación se transfiere en forma de energías cinéticas de traslación y de rotación. A la esfera sólida le corresponde el menor momento de inercia y por tanto tiene la *menor* energía cinética de rotación. Debe tener, por tanto, la *mayor* energía cinética de traslación y la mayor velocidad.
- c 30 J
- 3 a El momento angular es el producto del momento de inercia por la velocidad angular. ($L = I\omega$)
b i La gráfica debería tener una forma aproximadamente sinusoidal, comenzando en (0,0) y mostrando dos ciclos completos (cuatro máximos de la velocidad angular).
ii El péndulo no es un sistema aislado, ya que sobre él actúa la fuerza de la gravedad.
- c Ambas $0,76 \text{ rad s}^{-1}$ en sentido horario
- 4 a i $0,18 \text{ mol}$
ii $1,9 \times 10^6 \text{ Pa}$
b i Una curva de pendiente suave y en sentido ascendente que va de A a un volumen menor seguida de una línea vertical hasta una presión pronunciada; después, una curva de fuerte pendiente de regreso a A
ii Cambio b
iii El trabajo realizado es equivalente al área en el interior del ciclo dibujado sobre el diagrama
- 5 a i Adiabático, porque el cambio es demasiado rápido para permitir la transferencia de energía térmica.
ii Cuando las moléculas de gas colisionan con el émbolo que se desplaza hacia dentro ganan energía cinética (y velocidad), que se mide en forma de un incremento de temperatura.
- b i 120 J
ii La segunda ley afirma que la entropía de un sistema siempre debe aumentar. Habrá un descenso de la entropía en la fuente caliente cuando transfiere energía, pero será mucho menor que la suma de los dos aumentos de entropía: la ganancia de entropía del depósito cuando absorbe energía + la ganancia de entropía cuando el motor realiza un trabajo útil.
- 6 a i $1,0 \times 10^8 \text{ Pa}$
ii La presión debida a la atmósfera es mucho menor que la presión debida al agua (aproximadamente

- 1:10³) y en la pregunta se pide solo una estimación.
- iii 10⁴N
- b i La presión que actúa en sentido ascendente sobre la superficie inferior es mayor que la presión que actúa en sentido descendente sobre las superficies superiores.
- ii 1,5 × 10⁵ N
- c En el interior del submarino hay tanques herméticos que se pueden llenar con cantidades variables de agua y/o aire. De este modo, se puede cambiar el peso del submarino para que sea mayor o menor que el empuje.
- 7 a i Una medida de la resistencia del fluido al flujo.
- ii Si el flujo es laminar (sin turbulencias).
- b i 3,7 × 10⁻⁵ N
- ii 13 cm s⁻¹
- c 53 ms⁻¹
- 8 b La gráfica debería mostrar un máximo (un pico) de resonancia a 0,7 Hz y un máximo más bajo a 1,4 Hz.
- c Forma similar a la de **b** pero con amplitudes menores.
- d La resonancia se produce cuando hay una transferencia de energía desde la radiación (infrarroja) a las moléculas del gas si la frecuencia de la radiación es igual a la frecuencia natural a la que oscilan las masas de las moléculas.
- 9 a Cuando las amplitudes de las oscilaciones disminuyen a causa de las fuerzas de resistencia del interior de los sistemas.
- b i infraamortiguación (amortiguación leve)
- ii Si todas las amplitudes de los picos sucesivos tienen la misma proporción, la relación es exponencial. Las medidas confirman que esta proporción ≈ 0,5, lo que demuestra que probablemente se trata de una relación exponencial.
- c ≈ 9

15 Imágenes

Hoja 3

- 1 a Se deben dibujar rayos rectos a partir de la línea que representa la lente (a partir de los dos puntos hacia donde apuntan las flechas) a través (y más allá) del mismo punto focal sobre el eje principal. Estos rayos se deben etiquetar como «rojos». Otro par de rayos similares, etiquetados como «azules», deben cruzar el eje principal más cerca de la lente.
- b La luz roja y la luz azul están enfocadas sobre diferentes lugares. Esta separación de colores y la consiguiente falta de un foco claro se denomina aberración cromática.
- c Mediante una combinación de lentes convergentes y divergentes fabricadas con vidrios con distintos índices de refracción.
- d i 13 cm de la lente sobre el mismo lado que el objeto.
- ii 2,7
- 2 a Véase la Figura 15.23, tercer diagrama.
- b i virtual, derecha, disminuida
- ii Siempre que se requiere un amplio campo de visión, por ejemplo en un espejo retrovisor de un vehículo.
- 3 a Véase la Figura 15.35.
- b en el infinito
- c Véase la Figura 15.35.
- d 2,0 cm de la lente
- 4 a El ángulo subtendido en un ojo por la imagen dividido por el ángulo subtendido en el ojo por el objeto.
- b 3,7
- c i 1,0 cm y 4,0 cm
- ii lente de 25 D
- iii 5,0
- iv 36
- 5 a -0,21 dB km⁻¹
- b La dispersión de la guía de ondas se produce porque las trayectorias de los distintos rayos a través del cable no tienen exactamente la misma longitud. La dispersión del material se produce porque las diferentes longitudes de onda viajan a diferentes velocidades en el cristal.
- c El índice de refracción del vidrio de una fibra de índice gradual disminuye con la distancia radial desde el eje central. El efecto producido consiste en la refracción de los rayos en forma de trayectorias curvas cercanas al eje, de manera que recorren distancias similares.
- 6 a Los pulsos de alta frecuencia se envían a través del cable coaxial, cada uno con la misma diferencia de potencial entre el cable central de cobre y la malla de cobre que lo rodea, que está conectada a tierra.
- b Menor atenuación; velocidades de transferencia de datos muy superiores (para cables de dimensiones similares); menos interferencias procedentes de/hacia las señales de otros cables; más seguros.
- 7 a El espesor de un medio que reduce la intensidad de un haz paralelo de rayos X a la mitad.
- b 0,305
- c Se transmitirá una mayor fracción a través de 6,00 mm porque un espesor del vapor mitad mayor (y un menor coeficiente de atenuación) significa que un mismo espesor absorbe/dispersa menos.
- d i Los rayos X se dispersan en el cuerpo del paciente (fuente demasiado cerca, demasiado lejos o no colimada).
- ii Se coloca una rejilla oscilante de colimación entre el paciente y el detector/película de rayos X.
- e Una pantalla colocada entre el paciente (sobre la rejilla) y el detector que contiene materiales fluorescentes que emiten luz cuando inciden sobre ellos los rayos X.
- 8 a En lugar de que la fuente de rayos X y el detector estén en posiciones fijas, rotan alrededor del paciente, que debe permanecer muy quieto sobre una camilla que se mueve lentamente a través del haz. El proceso está totalmente controlado por ordenador.
- b i Las imágenes obtenidas con TC tienen una resolución mucho mayor; los rayos X utilizados pueden atravesar los huesos.
- ii No se cree que la ecografía suponga ningún riesgo para la salud; las imágenes se pueden observar en tiempo real; los equipos son móviles y relativamente baratos.
- 9 a entre 2 MHz y 20 MHz
- b En una ecografía en modo A las ondas reflejadas recibidas en la sonda se pueden visualizar como amplitudes variables en una gráfica d.p.-tiempo. Las ecografías en modo B permiten visualizar la información en forma de brillo variable en una imagen de video bidimensional en tiempo real.
- c Ventaja: una menor difracción a frecuencias más altas produce imágenes con mejor resolución. Inconveniente: las ondas de ultrasonidos de frecuencias mayores están más atenuadas que las de frecuencias menores.
- d 1,3

- e La respuesta a **d** indica que la atenuación del hueso es mayor que la del músculo.
- 10 a El efecto por el que un sistema (que puede oscilar) absorbe energía de otra fuente oscilatoria externa que oscila con la misma frecuencia que la frecuencia natural del sistema.
- b Cuando los protones de los átomos de hidrógeno están sometidos a la acción de un campo magnético uniforme intenso, efectúan un movimiento de precesión alrededor de la dirección del campo (a una velocidad conocida como frecuencia de Larmor). Esta frecuencia se encuentra en la zona de radiofrecuencia (RF) del espectro electromagnético. Cuando se aplica al paciente un campo magnético de RF externo, los protones de los átomos de hidrógeno entran en resonancia, de manera que sus movimientos se ponen en fase.
- c La RMN no comporta el envío de fotones de alta energía al interior del paciente (que pueden dañar las células).

16 Astrofísica

- a i Fusión nuclear
- ii La presión gravitatoria (hacia dentro) está compensada por las presiones (hacia fuera) de la radiación y los gases térmicos.
- b i La luminosidad de una estrella se define como la potencia total que irradia (en forma de ondas electromagnéticas).
- ii Las estrellas tienen distintas masas, lo que da lugar a distintas áreas superficiales y temperaturas.
- c i El brillo aparente de una estrella se define como la intensidad (potencia/área de recepción) sobre la Tierra.
- ii Distintas luminosidades; distintas distancias desde la Tierra.
- d i $7,2 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2}$
- ii Las estrellas de mayor tamaño están relativamente frías y por tanto tienen color amarillo/rojo. No se encuentran en la secuencia principal y tienen una luminosidad mayor que la mayoría de las demás estrellas, incluidas las gigantes rojas, a causa de su tamaño. Las supergigantes rojas son estrellas que han terminado su vida en la secuencia principal y que estallarán en forma de supernovas para acabar convirtiéndose en estrellas de neutrones o en agujeros negros, según su masa.
- iii $8,5 \times 10^{-7} \text{ m}$
- 2 a 2,7 K
- b La temperatura media del universo primigenio era extremadamente elevada. El modelo del *Big Bang* predice que, si se ha expandido, la temperatura media ha caído hasta el valor actual. (O bien se puede decir que la longitud de onda emitida originalmente se ha estirado a medida que el universo se ha expandido.)
- c El desplazamiento hacia el rojo de las líneas espectrales indica que las galaxias lejanas se alejan de nosotros a una velocidad que es proporcional a la distancia que nos separa de ellas, de manera que en el pasado deben haber estado mucho más cerca unas de otras.
- 3 a Porque las estrellas de la secuencia principal se ajustan a la ecuación y como $8 \times 10^4 = 25^{3,5}$, se confirma que X es una estrella de la secuencia principal.
- b La masa de la estrella X es superior al límite de Oppenheimer-Volkoff. Esto significa que cuando abandone la secuencia principal estallará en forma de supernova y se transformará en un agujero negro.
- 4 a $3,8 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$
- b i Utilizando la variación en la luminosidad de las estrellas variables Cefeidas en el interior del cúmulo.
- 5 a La estrella A, porque es la que tiene menos masa de las tres y solo las estrellas con masas pequeñas (menores que el límite de Chandrasekhar) evolucionan hacia enanas blancas.
- b La trayectoria debe ir desde A hasta la región de las gigantes rojas y después descender hasta la región de las enanas blancas.
- 6 a El factor de escala cósmico, R = distancia entre dos puntos cualesquiera en un cierto instante de tiempo dividida por la distancia entre los mismos puntos en un instante de referencia, normalmente el presente. Por eso, en el presente, $R = 1$, y cuando el universo se expande, R aumenta. Por ejemplo, si el tamaño del universo se duplica en algún momento del futuro $R \rightarrow 2$.
- b 1,020
- c Si la expansión del universo fuera lineal, $R = 1,000 - 0,020 = 0,980$, pero la velocidad de expansión era menor antes (porque la expansión se está acelerando), por tanto, un posible valor podría ser por ejemplo 0,982.
- 7 a Una explosión estelar repentina, impredecible y muy luminosa.
- b Las supernovas de tipo Ia se producen cuando una enana blanca de un sistema binario atrae suficiente materia de la otra estrella. Las supernovas de tipo II se producen tras el colapso de una supergigante roja.
- c Las supernovas de tipo Ia se producen cuando la masa total alcanza un valor determinado, valor umbral. Como este valor es siempre el mismo, las luminosidades resultantes son siempre las mismas, con independencia de dónde se produzcan. La distancia a una supernova de tipo Ia se puede determinar a partir de su luminosidad conocida y su brillo aparente observado desde la Tierra.
- d En las supernovas, las densidades neutrónicas y las temperaturas son tan elevadas que los núcleos pueden capturar rápida y sucesivamente neutrones y generar núclidos más pesados antes de que transcurra el tiempo suficiente para que se produzca la desintegración radiactiva.
- 8 a Una estrella solo se puede formar si la temperatura es lo bastante elevada para que se produzca la fusión. Para que las partículas puedan tener una temperatura elevada deben tener la suficiente energía cinética, que adquieren a medida que pierden energía potencial gravitatoria. Las partículas de las nebulosas de masas elevadas poseen una mayor energía potencial gravitatoria
- b Las estrellas con más masa tienen temperaturas mayores, por tanto la tasa de fusión es mayor y el hidrógeno se agota mucho más rápidamente.
- c i $0,018 \times$ vida del Sol
- ii Evolucionará hacia una gigante roja y después una enana blanca.
- 9 b Véase la Figura 16.54.
- c Las estrellas ubicadas a distancias relativamente elevadas del centro de la galaxia tienen velocidades de rotación mucho mayores que las que se pueden predecir a partir de los cálculos relacionados con las masas observables de la galaxia. Debe haber una masa no observada (materia oscura) en la galaxia, en especial hacia sus bordes.
- d Las partículas MACHO o WIMP (dar un ejemplo específico)
- 10 a El universo es homogéneo e isotrópico. Esto significa que todas las secciones de gran tamaño del universo tienen una estructura esencialmente similar y que las

- observaciones realizadas en cualquier dirección desde cualquier ubicación serán las mismas (a gran escala).
- b Las variaciones en las observaciones realizadas desde la Tierra se deben a la presencia de objetos relativamente cercanos a la Tierra (por ejemplo, la estructura de nuestra galaxia). Estas diferencias no son significativas dada la enorme escala del universo.
- 11 a El valor teórico de la densidad que detendría la expansión del universo al cabo de un tiempo infinito.
- b $9,2 \times 10^{-27} \text{ kg m}^{-3}$
- c i 5,5 nucleones m^{-3}
- ii 57 cm
- d i La luminosidad de las supernovas de tipo A es conocida y cuando se producen en una galaxia lejana se pueden determinar sus distancias respecto a la Tierra. Estas distancias son superiores a las que predice la teoría de la expansión del universo a una velocidad constante o en disminución.
- ii La teoría de la *energía oscura* sugiere que está presente por todo el universo a una densidad muy baja, lo que da lugar a una presión negativa y, por tanto, a una resistencia a la contracción.