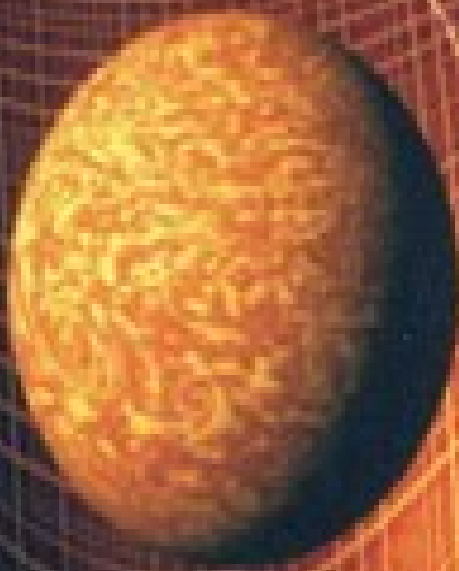


FÍSICA RELATIVISTA



EJERCICIOS Y PROBLEMAS

SISTEMAS DE REFERENCIA Y TRANSFORMACIÓN DE GALILEO

¿Por qué actualmente se desecha la idea de la existencia del «éter cósmico»?

El revisor de un tren camina en dirección a la máquina a una velocidad de 5 km/h por el pasillo de un tren que viaja a 200 km/h. Calcula su velocidad respecto a otro revisor que hace lo mismo en un tren con el que se cruza en dirección contraria si se realiza una transformación clásica o de Galileo.

Un hombre que pesa 800 N se encuentra sobre un dinamómetro en un ascensor. De repente, el ascensor se suelta y cae libremente. ¿Qué peso registrará el dinamómetro en ese momento?

8 Calcula el tiempo que tarda un avión en viajar de Madrid a Palma de Mallorca y en volver, si la distancia es de 542 km y suponiendo que el viento sopla de costado a 60 km/h y que la velocidad máxima del avión es de 400 km/h.

¿Cuánto tardará si el viento sopla a favor en la ida y en contra en la vuelta?

9 Dentro de un ascensor herméticamente cerrado hay una persona. De repente, el ascensor es empujado hacia abajo con una fuerza que le produce una aceleración de $2g \text{ m/s}^2$.

¿Podrá la persona caminar por el techo en el interior del ascensor?

POSTULADOS DE LA RELATIVIDAD RESTRINGIDA Y TRANSFORMACIÓN DE LORENTZ

Indica si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones, razonando las respuestas:

- Si Michelson y Morley hubieran viajado en una nave a una velocidad cercana a la de la luz, el experimento habría dado distinto resultado.
- Aunque no pueda medirse su velocidad, se sabe que el éter existe.
- Dos hechos que suceden simultáneamente en un sistema de referencia pueden no coincidir en otro.
- La luz se propaga siempre en línea recta.
- Puesto que la velocidad de la luz es una velocidad límite, la máxima energía cinética que puede tener un cuerpo es $1/2 m_0 c^2$.

11 Una pieza de una nave espacial se mueve con una velocidad de $0,8c$ con respecto al sistema de referencia de un observador en la nave. Si la nave se aleja de la Tierra a una velocidad de $0,8c$, ¿con qué velocidad se mueve la pieza para un observador desde la Tierra?

12 Desde la Tierra pueden verse dos galaxias que se alejan de nosotros en direcciones opuestas con una velocidad de $0,6c$. Averigua la velocidad con que se alejan una de otra.

13 Si Próxima Centauro, la estrella más cercana a la Tierra (a tan solo 4,3 años luz de distancia), explotase formando una supernova, ¿cuánto tardaríamos en enterarnos?

CONTRACCIÓN DE LONGITUDES DE LORENTZ-FITZGERALD

4 Un cometa viaja con una velocidad de 220 000 km/h. Calcula el porcentaje del tamaño de su cola que le parecerá que tiene a un observador desde la Tierra.

5 La Tierra se desplaza por el espacio con una velocidad de 29,8 km/s, y su diámetro es de 12 740 km. ¿Cuál será el diámetro de la Tierra en su movimiento a lo largo de la órbita terrestre, visto desde el Sol?

5 Un tripulante de una nave espacial ve cómo se cruza con otra de igual modelo a gran velocidad. En sus instrumentos de medida obtiene que el tamaño de la otra nave es la mitad que el de la suya.

¿Qué tamaño aparente tendrá la nave de nuestro tripulante medida desde la otra?

7 ¿Qué forma tendrá un cuadrado de lado 1 m si se mueve paralelamente a una de sus caras con una velocidad de $0,99c$? ¿Y si se moviera paralelamente a una de las diagonales?

18 Aunque la contracción de Lorentz-Fitzgerald es real en el sentido de que puede comprobarse mediante mediciones adecuadas, una fotografía real de un objeto en movimiento relativo muy rápido estaría distorsionada dependiendo de la dirección desde la que se tomara y de la relación v/c . Explica este hecho.

19 Un ejemplo sorprendente de la dilatación del tiempo junto con la contracción de longitud se presenta en la desintegración de partículas inestables como los muones μ . Estos se crean en la parte alta de la atmósfera por la acción de los rayos cósmicos que llegan a la Tierra procedentes del espacio y alcanzan el nivel del mar en grandes cantidades. Su velocidad es $0,998c$ y se desintegran en un electrón en un tiempo medio de $2 \cdot 10^{-6} \text{ s}$, luego teóricamente solo pueden recorrer una distancia de:

$$y = vt_0 = 2,994 \cdot 10^8 \text{ (m/s)} \cdot 2 \cdot 10^{-6} \text{ (s)} = 600 \text{ m}$$

Sin embargo, aparecen a alturas diez veces mayores. Resuelve esta paradoja.

EJERCICIOS Y PROBLEMAS

DILATACIÓN DEL TIEMPO

- 20** El Concorde recorre a una velocidad de mach 2 los 6 050 km que separan París de Nueva York. Calcula el retraso que tendrá el reloj del piloto respecto al de un controlador aéreo en el aeropuerto (1 mach = velocidad del sonido = 340 m/s).
- 21** Un satélite se encuentra situado en una órbita geostacionaria a una altura de 36 000 km sobre la superficie de la Tierra y, por tanto, da una vuelta alrededor de esta cada 24 h. ¿Cuánto tardará el reloj del satélite en retrasarse 1 s respecto de los relojes terrestres?
- 22** El Sol se encuentra a $1,5 \cdot 10^8$ km de distancia de la Tierra. Si observamos una llamarada en la corona solar, averigua cuánto tiempo antes la habría visto un observador que se encontrase en Mercurio, a $5,79 \cdot 10^7$ km de distancia.
- 23** En un laboratorio se han ajustado dos relojes idénticos para que suene un tic cada segundo. Si uno de los relojes se mueve con una velocidad $v = 0,8c$ y el otro se encuentra estacionario, ¿cuál es el tiempo que transcurre entre dos tics del reloj móvil cuando el intervalo es medido por el reloj estacionario?
- 24** La esperanza de vida en España es de unos 70 años.
- ¿Qué distancia podría recorrer una nave vacía enviada al espacio que se mueva con una velocidad de $0,7c$ a lo largo de la vida de una persona?
 - ¿Cuánto podrá recorrer una persona con la misma expectativa de vida que se encuentre dentro de la nave?
- 25** La Luna está a una distancia de la Tierra de aproximadamente 300 000 km, y su período de traslación dura 28 días. ¿Cuánto retraso acumulado tendría el 19 de julio de año 2001 un reloj dejado por Neil Armstrong el 19 de julio de 1969 en la superficie de la Luna?
- 26** Una nave espacial de 200 m de largo que se mueve a una velocidad de $0,2c$ tiene un faro en la cola. Calcula el tiempo que tarda la luz en adelantar a la nave desde el punto de vista del piloto.
- 27** El fenómeno de la dilatación del tiempo ha dado origen a la famosa «paradoja de los gemelos», en la que el envejecimiento biológico es el «reloj» en los sistemas S y S' en movimiento relativo. Supón dos hermanos gemelos y que uno abandona la Tierra a los 15 años en un viaje de ida y vuelta a una estrella que dista 4,4 años luz a una velocidad de $0,8c$; por tanto, el tiempo de ida y vuelta es de 11 años. El gemelo que queda en la Tierra habrá envejecido 11 años al regreso del otro. El gemelo viajero que se ha movido respecto a la Tierra habrá envejecido en una cantidad: $\Delta t = 11 \cdot \sqrt{1 - 0,8^2} = 6,6$ años. Pero el problema se hace confuso cuando se examina desde el punto de vista del gemelo viajero: para él, la Tierra ha retrocedido respecto a un sistema de referencia fijo en su propia nave. Como la Tierra tarda en regresar 11 años, el navegante habrá envejecido 11 años, y el que permanece en la Tierra, solamente 6,6 años. Resuelve esta aparente contradicción.

EQUIVALENCIA MASA-ENERGÍA

- 28** ¿Cuánta energía podría obtenerse transformando la masa de un virus de 10^{-18} g?
- 29** La densidad del aire es aproximadamente de 1 g/L. ¿Qué energía está contenida en un recipiente que contiene 200 cm³ de aire?
- 30** Calcula a qué velocidad tiene que moverse un cuerpo para que su energía total sea el doble de la que tenía en reposo.
- 31** ¿Qué masa tendrá un cuerpo que en reposo tiene una masa de 40 kg, cuando viaja con una velocidad de $0,5c$?
- 32** Desde una base en la Tierra se observa que la masa de un tripulante de una nave espacial que viaja a una velocidad de $0,5c$ es de 85 kg. ¿Cuál sería su masa si se midiese en la nave?
- 33** Indica si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones, razonando la respuesta:
- Si una nave pasa frente a nosotros a una velocidad cercana a c , la vemos más corta de lo normal, pero sus tripulantes nos ven a nosotros más anchos de lo normal.
 - Los relojes que viajan en naves que se mueven a velocidades próximas a la velocidad de la luz adelantan respecto de los nuestros en reposo en la Tierra.
 - La velocidad de la luz no varía en la transformación de Galileo.
 - Las leyes de la física son invariantes en la transformación de Galileo.
 - El principio de conservación de la masa y el principio de conservación de la energía no tienen ninguna relación.

EJERCICIOS Y PROBLEMAS

- 34** En el acelerador de partículas del CERN tienen protones cuya masa en reposo es $1,67 \cdot 10^{-27}$ kg moviéndose a velocidades de $0,9c$ dentro de unos tubos. Averigua la masa que tendrán que utilizar los científicos en sus cálculos para predecir correctamente la trayectoria de los protones.
- 35** Calcula la cantidad de masa que se convierte en energía por segundo en una central nuclear que proporciona 920 MW.
- 36** Calcula el trabajo que hay que hacer para acelerar un protón desde el reposo hasta $2,4 \cdot 10^8$ m/s.
Dato: $m_p = 1,672 \cdot 10^{-27}$ kg
- 37** Una nave espacial que se desplaza a una velocidad de 40 000 m/s choca con un trozo de hielo de 10 g, procedente de un cometa, que se encuentra parado en el espacio. ¿Qué energía cinética tiene el hielo para los pilotos de la nave?
- 38** Averigua el incremento de masa de un cuerpo con una energía cinética de 10^6 J.
- 39** En un cristal, las moléculas se encuentran quietas en ciertas posiciones, mientras que en un gas se mueven a gran velocidad.
¿Aumenta la masa de un cuerpo al pasar de sólido a gas?

RELATIVIDAD GENERAL

- 40** Explica cuál es la causa de que la luz se curve cuando pasa cerca de una estrella de gran masa.
- 41** Los fotones se propagan en el vacío a la velocidad de la luz. ¿Cuál es su masa en reposo?
- 42** Los agujeros negros son objetos físicos que se describen mediante modelos teóricos. Se trata de restos procedentes de catástrofes estelares. Cuando una estrella muy masiva experimenta una explosión tipo «supernova», si el resto estelar (sus capas más internas) es superior a 1,4 masas solares, debido a la fuerza gravitatoria, experimenta un proceso de conversión en agujero negro (también llamado «estrella congelada»).



La materia estelar desaparece dentro de una esfera imaginaria, llamada «horizonte de sucesos», de forma que nada, ni siquiera la luz, puede escapar del interior de dicho horizonte. En ese sentido, se trataría de un objeto perfectamente negro, pues absorbería toda la luz o materia que estuviese en sus alrededores y no emitiría ningún tipo de radiación o materia.

En algún punto interior del horizonte de sucesos, el valor de la gravedad debe ser infinito, aunque eso carece de significado en la física conocida.

Si pudiera observarse el acercamiento de un objeto al horizonte de sucesos, se comprobaría que este es acelerado hasta alcanzar la velocidad de la luz justo en el horizonte de sucesos. Pero esta velocidad es un límite inalcanzable de la física.

La materia acelerada hasta velocidades próximas a la de la luz emite rayos X, y son precisamente las fuentes de estos rayos las candidatas a ser identificadas como agujeros negros.

- Busca información del efecto de «marea gravitatoria» que se experimentaría cerca del agujero negro.
- Busca información, teniendo en cuenta la teoría de la relatividad, sobre cómo sería el viaje a un agujero negro desde el punto de vista del viajero que va hacia él y desde el de un observador alejado.

- 43** La longitud de onda de la luz de las galaxias que se alejan de nosotros a más velocidad es más roja (mayor longitud de onda) que la de las que se mueven más despacio. Explica si esto contradice el que la velocidad de la luz sea la misma para todos los observadores.