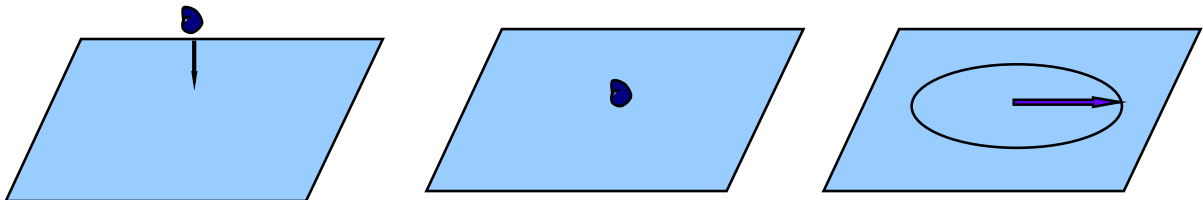


RELATIVIDAD - LA VELOCIDAD DE LA LUZ

- Analice la forma de establecer la escala de tiempo en un sistema de referencia. Discuta una manera empírica concreta de hacerlo, en el contexto pre-relativista.
 - Discutir qué es lo que debe interpretarse por “observar” cuando se establecen los valores de x y t de un “suceso” o “evento” físico.
- Se tira una piedra en un estanque con agua. Como consecuencia se produce una “onda” u olita que avanza formando un círculo centrado donde cayó la piedra. Llamemos c a la velocidad (constante) con que avanza la onda.
 - Qué relación hay entre esta velocidad y la piedra?
 - Supongamos que $c = 20\text{cm/s}$. Si ahora se tiran piedras a razón de una cada 0.1 s en el mismo punto del estanque, hallar: separación espacial entre dos ondas sucesivas, λ , frecuencia, ν , y período entre olas sucesivas en un punto fijo. A qué es igual el producto $\lambda\nu$?
 - Ahora se tiran las piedras desde un móvil que avanza con velocidad $v = 10\text{ cm/s}$. Con qué velocidad avanzan ahora las ondas producidas en el estanque? Hallar ahora la separación espacial y temporal entre dos olitas sucesivas, o sea su frecuencia ν' y su “longitud de onda” λ' . A qué es igual el producto $\lambda'\nu'$?
 - Comparar, en los casos a) y b) cuánto tarda en llegar la “señal” desde el punto en que cae la primer piedra a una distancia de 5 m . Cómo depende de la velocidad v de la “fuente”?
 - Qué velocidad tiene la “onda” en el sistema propio del móvil?



- Un auto de carrera a 300 km/h cuyo motor hace un ruido cuyo “tono” es un LA (450 Hz), se acerca a un observador al costado de la pista. Cuál es la frecuencia que oye el observador? Una vez que pasa delante de él y se aleja, cuál es la frecuencia que se oye? Analizar el cambio de frecuencia percibido y discutir si es apreciable para el oído humano.
(Dato: para aire, $c = 340\text{ m/s}$).

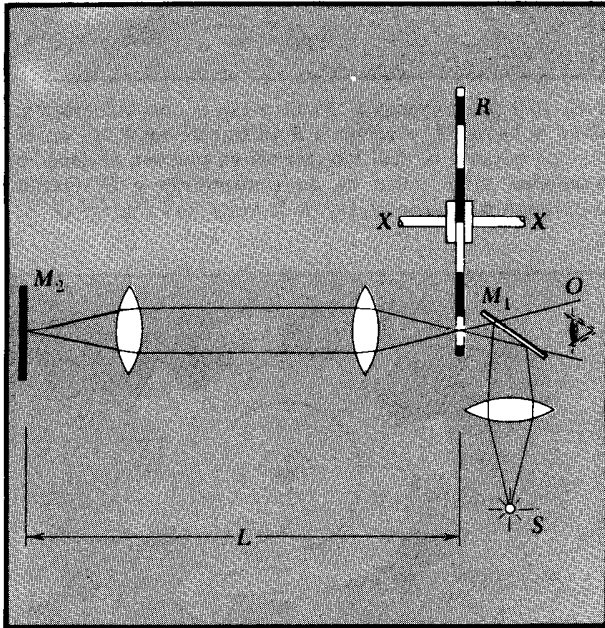
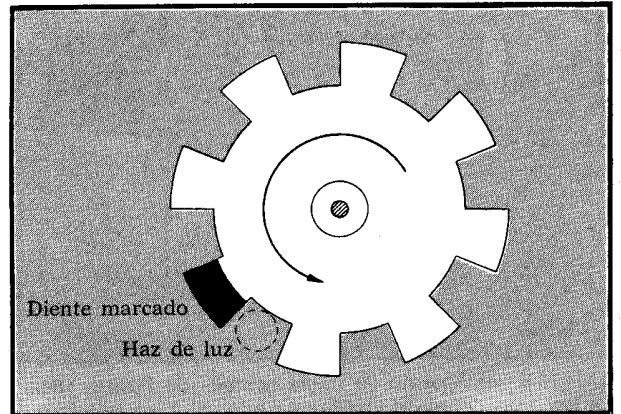


FIG. 10.8 a) Aparato de rueda dentada de Fizeau, 1849.



c) Vista del haz luminoso y de la rueda dentada R observada por el operador O . La rotación de R interrumpe el haz procedente de S , M_1 en pulsos cortos. (La luz puede pasar de M_1 a M_2 únicamente si no se encuentra ningún diente en su camino.)

4. Medición de la velocidad de la luz. Método de Fizeau.

En 1849 Fizeau midió la velocidad de la luz con, esencialmente, un espejo, una rueda dentada y una fuente de luz. Qué tiene que observarse a través de la rueda dentada para saber que gira a una velocidad en base a la cual se puede deducir la velocidad de la luz? En el experimento de Fizeau una fuente de luz se coloca detrás de la rueda dentada, el espejo se colocó a 8,6 km. Cuál tuvo que ser la frecuencia de obturación para medir la velocidad de la luz?

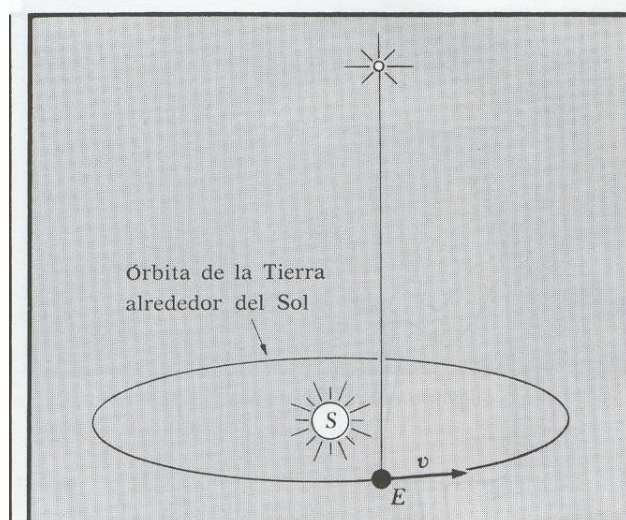


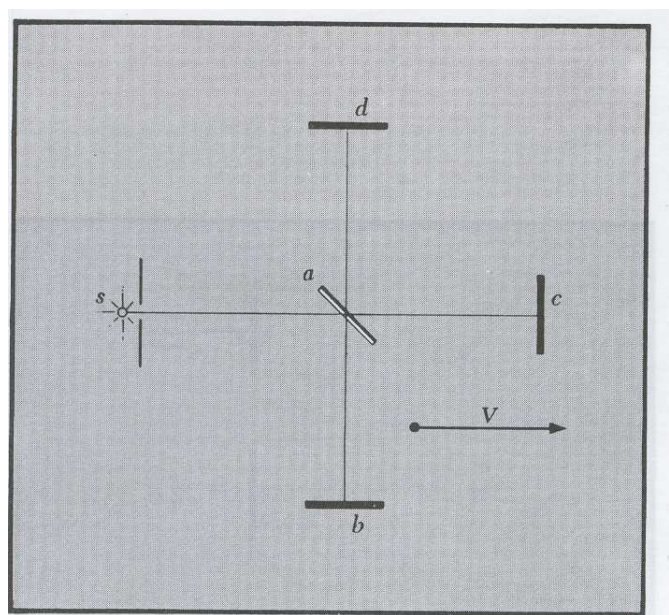
FIG. 10.5 Bradley utilizaba luz de una estrella lejana situada en el cenit y conocía la velocidad de la Tierra ($v_T = 30 \text{ km/s}$) para determinar c a partir de las mediciones de α : $\text{tg } \alpha = v_T/c$.

5. Medición de la velocidad de la luz en base a la aberración estelar. James Bradley, en 1725, observó y cuantificó el fenómeno conocido como aberración. Sólo interesa aquí porque provee una manera de medir la velocidad de la luz. Se basa en lo siguiente. Los astrónomos pueden identificar una estrella “fija” que se encuentra justo sobre el sol, perpendicular a la órbita de la tierra (ver figura). Desde la tierra, debido a su movimiento alrededor del sol con velocidad v_T , parece hacer un movimiento circular de igual período que la tierra. La composición de la velocidad con que llega la luz de la estrella (perpendicular a la tierra) con la de este movimiento da una dirección aparente a la luz que recibimos tal que la estrella parece estar corrida ligeramente, porque el ojo “extrapola” hacia atrás según la dirección con que la luz entra al ojo. Ese ángulo era de $20''$! Cuál es la velocidad de la luz medida de esta manera?

(Comentario: ese cambio aparente en la dirección de la luz es igual al que se observa para las gotas de lluvia que caen verticalmente cuando se ven desde la ventanilla del colectivo en movimiento).

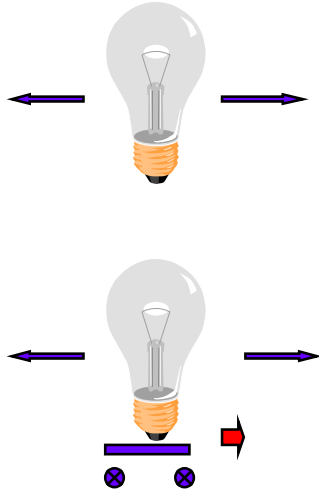
6. a) Cuál es la relación entre la velocidad de la luz y la de movimiento de la tierra alrededor del sol?

b) Michelson y Morley quisieron usar esa diferencia para ver si la velocidad de la luz era diferente según viajara paralela a un meridiano o a un paralelo terrestre. Pero la diferencia de tiempo que tenían que poder determinar era una fracción como la obtenida en a) del tiempo de viaje para una longitud L . Cómo pudieron hacer esto? Usando que una longitud de onda de luz sí tarda esa fracción y puede observarse en un experimento de interferencia. No importa el detalle, lo importante es que esa pequeñísima diferencia de tiempo es observable. Analizar la diferencia de tiempo que debieron observar si los brazos del interferómetro tienen longitud $L = 10\text{m}$.



b) Si el interferómetro está en reposo en el éter, una interferencia entre los haces aba y aca se observará en d . Si el aparato (y la Tierra) tienen velocidad V respecto a un éter hipotético, deberíamos esperar que la interferencia cambiase en d , puesto que el tiempo en recorrer aba , aca variará ahora en cantidades diferentes.

7. Conclusión: según lo observado, y según las leyes del electromagnetismo, se concluye que una onda de luz tiene estas propiedades: una vez que abandona la fuente, viaja con una velocidad propia, c , en el vacío. No importa el movimiento de la fuente, como en el problema de la piedra, pero tampoco hay un medio “propagador”, ocurre en vacío, o sea sin referencia a nada!!! Compárese estas dos situaciones:



A qué velocidad viaja la “señal” para un pasajero en el carrito? Y para uno en tierra?

Eso significa que el punto hasta donde llega la luz tiene que verse como $c \cdot t$ para el observador en tierra y como $c \cdot t'$ para el observador en el carrito!!!

8. El principio de relatividad. Verificar que las transformaciones de Lorentz son aquéllas que permiten que sea válido el principio de relatividad con relación a la propagación de la luz. Un rayo de luz viaja con velocidad c en todo sistema que se mueva con MRU.