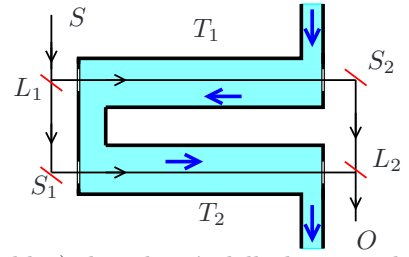


## Esperimento di Fizeau

La figura mostra un dispositivo ideato per misurare la velocità della luce in un mezzo in movimento.

Una sorgente  $S$  emette un fascio di luce monocromatico ( $\lambda_0 = 500 \text{ nm}$ ) che viene diviso in due raggi, di intensità pressoché uguale, dalla lastra semitrasparente  $L_1$ . Il raggio trasmesso dalla lastra viene riflesso dallo specchio  $S_1$ . I due fasci attraversano i tubi  $T_1$  e  $T_2$ , di lunghezza  $L = 1.5 \text{ m}$ , giungendo rispettivamente sullo specchio  $S_2$  e sulla lastra semitrasparente  $L_2$  dove vengono sovrapposti, giungendo all'osservatore  $O$ . I tubi  $T_1$  e  $T_2$  sono collegati fra loro, ed in essi viene fatta scorrere dell'acqua ( $n = 1.333$ ) con velocità  $u = 7 \text{ m/s}$ , come mostrato in figura.



(a) Se vale la legge di composizione delle velocità classica (trasf. di Galileo), la velocità della luce nei due tubi dovrebbe essere  $v'_{1,2} = v \pm u$ , dove  $v = c/n$  è la velocità della luce nel sistema di riferimento dell'acqua. Calcolare la differenza di fase che ci si attende di osservare in  $O$ .

(b) In realtà il valore misurato sperimentalmente (Fizeau, 1851) fu decisamente più piccolo di quello previsto, e risultava compatibile con l'ipotesi che la velocità della luce nell'acqua in movimento non fosse data dalla trasformazione di Galileo ma da

$$v'_{1,2} = v \pm u \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right).$$

Calcolare la differenza di fase ottenuta con questa formula.

(c) La spiegazione di questo fenomeno venne con la teoria della Relatività Ristretta di A.Einstein (1905), secondo la quale la corretta regola di composizione delle velocità è:

$$v' = \frac{v \pm u}{1 \pm \frac{vu}{c^2}}.$$

Dimostrare che nel limite  $u \ll c$  si ottiene proprio l'espressione indicata al punto b.

## Guida alla soluzione

Osserviamo innanzi tutto che se l'acqua fosse ferma ( $u = 0$ ) i due fasci arriverebbero all'osservatore esattamente in fase.

**a)** La velocità della luce nel sistema di riferimento dell'acqua è  $v = c/n$ . Nel tubo  $T_1$ , il fascio di luce si propaga in direzione opposta al moto dell'acqua, nel tubo  $T_2$  in direzione concorde. La velocità della luce nel sistema di riferimento del laboratorio per i due tubi è quindi:  $v'_1 = \frac{c}{n} - u$  e  $v'_2 = \frac{c}{n} + u$ . Per effetto delle diverse velocità la luce percorre i due tubi in tempi diversi.

Nel vuoto (o nell'aria, con ottima approssimazione),  $\lambda_0 \nu_0 = c$ , quindi  $\nu_0 = c/\lambda_0$ . Nei due tubi la luce cambia velocità e quindi lunghezza d'onda, ma non cambia la sua frequenza ( $i = 1, 2$ ):  $\lambda_i = \frac{v'_i}{\nu_0} = \frac{v'_i}{c} \lambda_0$ . La differenza di fase è data da:

$$\Delta\phi = k_1 L - k_2 L = \frac{2\pi L}{\lambda_1} - \frac{2\pi L}{\lambda_2} = \dots$$

**b)** Si ripete il ragionamento precedente usando le espressioni per  $v'_1, v'_2$  indicate nel testo.

Queste espressioni per  $v'_1, v'_2$  non sono compatibili con le trasformazioni di Galileo: all'epoca di questo esperimento si pensava che l'etere luminifero venisse parzialmente trascinato dall'acqua in moto. Questa interpretazione però era in contraddizione con i risultati di altri esperimenti.

La Teoria della Relatività Ristretta risolverà l'enigma trovando la spiegazione per molti fenomeni inconciliabili con la Fisica Classica. In particolare, introdurrà la nuova regola di composizione delle velocità.