

Zum Michelson - Versuch

Ein Gedankenexperiment macht das Grundproblem deutlich.

Ein Zug S' fährt geradlinig mit einer Geschwindigkeit von $V = 100000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Parallel zu ihm fliegt eine Rakete mit der Geschwindigkeit $v = 250000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ in der gleichen Richtung und ein andres Mal in entgegengesetzter Richtung.

Als Geschwindigkeit der Rakete vom Zug S' aus berechnet man $v' = 150000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ und $v' = -350000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

Wenn das aus der Galilei - Transformation folgende Überlagerungsgesetz zuträfe, dann müsste ein Experimentator die entgegenkommende Rakete mit Überlichtgeschwindigkeit messen. Da zum damaligen Zeitpunkt das Problem der Lichtgeschwindigkeit bekannt war, sollte sich das Gedankenexperiment auch auf das Licht übertragen lassen. Damit würde ein entgegenkommender Lichtstrahl jedes Mal schneller sein, als die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum.

Diese Überlegungen gingen von der Annahme aus, dass

1. *die Überlagerung von Geschwindigkeiten allgemeingültig sei und*
2. *ein Relativitätsprinzip wie in der Mechanik für elektromagnetische Erscheinungen nicht gelte.*

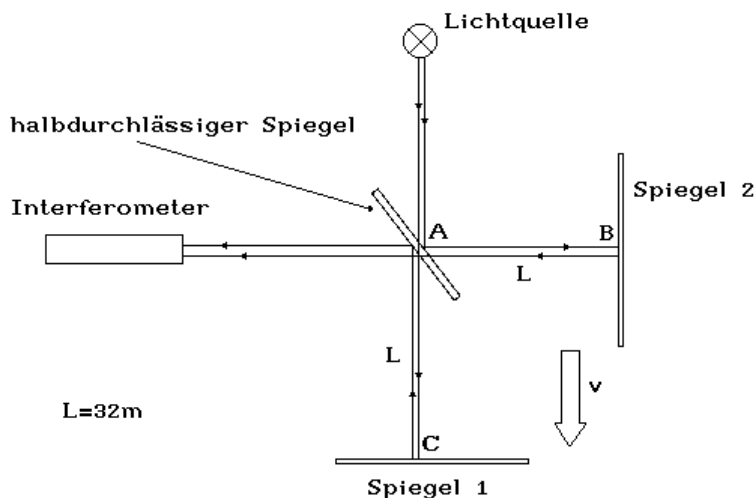
Danach sollte auf der Erde, die sich gegen ein mit den anderen Sternen (Sonne) verbundenes Inertialsystem mit einer Geschwindigkeit von $30 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ auf ihrer Bahn bewegt, in Bahnrichtung eine kleinere und entgegengesetzt dazu eine größere Geschwindigkeit des Lichtes gemessen werden können.

Eine solche Messung sollte die Unterscheidung eines ruhenden Inertialsystems (Fixsternsystem) von einem bewegten Inertialsystem (Erde) ermöglichen.

Versuchsanordnung

Dieses berühmt gewordene Experiment wurde von MICHELSON im Jahr 1881 in Potsdam und 1887 gemeinsam mit MORLEY in Cleveland durchgeführt. Dieses Experiment ist in der Folgezeit des öfteren wiederholt worden, wobei die Messgenauigkeit noch weiter gesteigert werden konnte. Sämtliche Experimente erbrachten dasselbe Ergebnis.

prinzipielle Versuchsanordnung



Die Versuchsanordnung besteht aus einer halbdurchlässigen Platte, die einen Teil des Lichtes der Lichtquelle durchlässt und einen anderen Teil reflektiert, und zwei Spiegeln. Mit dem Interferometer werden die Interferenzen der beiden Lichtbündel registriert. Die Verbindungslinie AC soll in die Richtung der Erdbahn fallen. Die Verbindung AB steht senkrecht dazu. Bei gleicher Länge l berechnet man etwas verschiedene Laufzeiten für das Lichtsignal.

Die Laufzeit t_1 für die Strecke AC setzt sich aus der Zeit für Hin- und Rückweg zusammen.

$$t_1 = t_{1h} + t_{1r}$$

$$t_1 = \frac{l}{c-V} + \frac{l}{c+V}$$

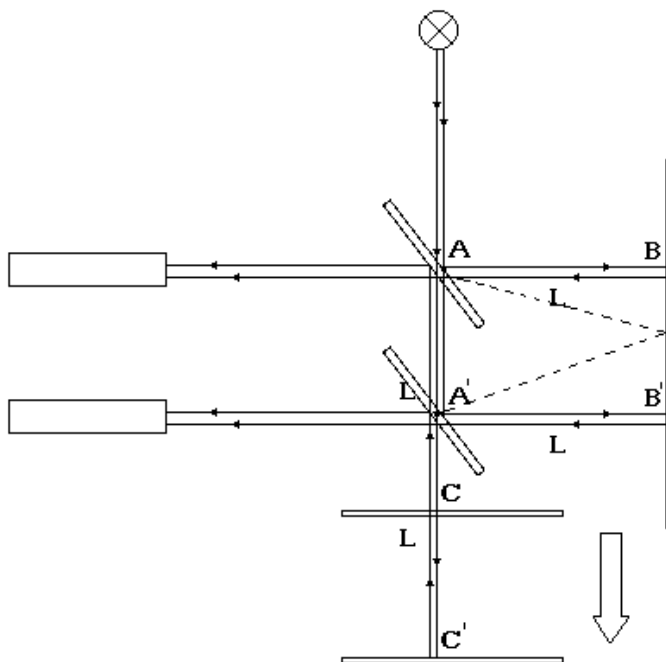
$$t_1 = \frac{l \cdot c + l \cdot V + l \cdot c - l \cdot V}{c^2 - V^2} = \frac{2l \cdot c}{c^2 - V^2}$$

$$t_1 = \frac{2l}{c} \cdot \frac{1}{1 - \frac{V^2}{c^2}}$$

Näherungsweise kommt man durch eine Abschätzung des zweiten Faktors zu der Gleichung:

$$t_1 = \frac{2l}{c} \left(1 + \frac{V^2}{c^2} + \dots \right)$$

Für die Strecke AB und zurück ergibt sich wegen der Vorwärtsbewegung der Apparatur



$$t_2 = t_{2h} + t_{2r}$$

$$t_2 = \frac{l}{\sqrt{c^2 - V^2}} + \frac{l}{\sqrt{c^2 - V^2}} = \frac{2l}{\sqrt{c^2 - V^2}}$$

$$t_2 = \frac{2l}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = \frac{2l}{c} \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{V^2}{c^2} + \dots \right)$$

$$\Delta t = t_1 - t_2 \approx \frac{2l \cdot V^2}{c^3} - \frac{l \cdot V^2}{c^3} \approx \frac{l \cdot V^2}{c^3}$$

Der Laufunterschied Δt wird für $V = 30 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ und $l = 30 \text{ m}$: $\Delta t = 10^{-15} \text{ s}$.

Der kleine Laufzeitunterschied ist nicht direkt messbar. Durch eine Drehung der Apparatur ist jedoch eine messbare Verschiebung der Interferenzstreifen im Interferometer zu erwarten.

Bei einer Drehung um 45° bilden beide Lichtwege mit der Bewegungsrichtung den gleichen Winkel, deshalb muss der Laufzeitunterschied $\Delta t = 0$ werden.

Bei einer Drehung um 90° haben beide Lichtwege ihre Lage vertauscht, und der Laufzeitunterschied hat das umgekehrte Vorzeichen.

Das ergibt:

$$2\Delta t = \frac{2l}{c} \cdot \frac{V^2}{c^2} .$$

Die Verschiebung d der Interferenzstreifen zur Streifenbreite b beträgt:

$$\frac{d}{b} = \frac{2\Delta t}{T}$$

mit T als Schwingungsdauer des Lichtes. Daraus folgt wegen

$$T \cdot c = \lambda$$

$$\frac{d}{b} = \frac{2l}{\lambda} \cdot \frac{V^2}{c^2} .$$

Das vorausberechnete Ergebnis trat jedoch nicht ein, der Versuch ergab **keine Verschiebung der Interferenzstreifen**.

Dieses Ergebnis war unerwartet und überraschend. Es war mit der bisherigen Theorie nicht zu erklären. Trotz ständiger Verbesserungen der Experimente konnten die Ergebnisse nicht widerlegt werden.

Als experimentell gewonnene und gesicherte Erfahrung ergibt sich somit **die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit**.