

Messung der Lichtgeschwindigkeit

Nach J. B. L. Foucault

Geräteliste:

Laser , Fotozelle, Drehspiegel, Linse ($f = 5000\text{mm}$) , 2 Oberflächenspiegel, Strahlteiler, regelbarer Trenntrafo, Schirm, ggf. Photodiode mit Frequenzzähler

Versuchsbeschreibung:

Mitte des 19. Jhdts. konnte mit einem ähnlichen Experiment die Lichtgeschwindigkeit für derzeitige Verhältnisse relativ genau bestimmt werden.

Nach der Justage wird der Drehspiegel über den Trenntrafo in Rotation versetzt und einer der Lichtpunkte auf dem Schirm beginnt zu wandern. Die Abstände zwischen Drehspiegel - Strahlteiler - Schirm müssen vermessen werden, und die Drehzahl des Spiegels wird mit Hilfe einer Photodiode und dem Oszilloskop kontrolliert. Bei Höchstdrehzahl wird die vom Lichtpunkt durchwanderte Strecke auf dem Schirm gemessen.

Bemerkungen:

Der Versuchsaufbau ist in der folgenden Abbildung schematisch dargestellt.

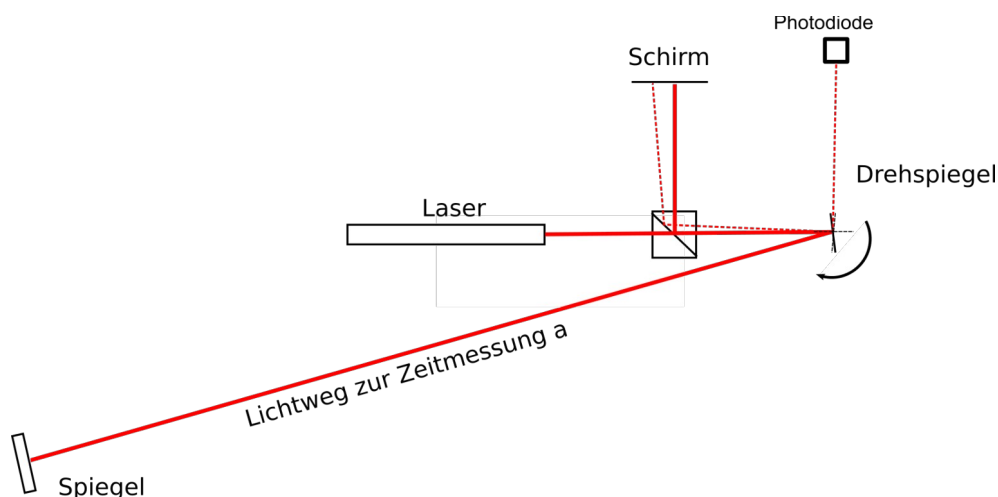


Abb. 1: Schematischer Aufbau

Der Laserstrahl wird vom Drehspiegel reflektiert und auf den anderen Spiegel geworfen. Von dort aus wird der Strahl genau zurück reflektiert und nach dem Drehspiegel auf dem Weg zum Laser zurück in einem Strahlteiler seitlich zum Schirm abgelenkt.

In diesem Aufbau werden 2 Messungen vorgenommen. Zum einen wird die Zeit gemessen, die das Licht für das Durchlaufen des Weges Drehspiegel-Spiegel-

Drehspiegel benötigt. Dafür muss der sehr kleine Drehwinkel bestimmt werden, um den sich der Drehspiegel in dieser Zeit dreht. Zum anderen wird die Drehzahl des Spiegels gemessen indem die Laserreflexe mit der Fotodiode überwacht werden. Die Ablenkung des Strahls durch den Drehspiegel ist in Abb. 2 zur Übersicht ohne den Strahlteiler skizziert.

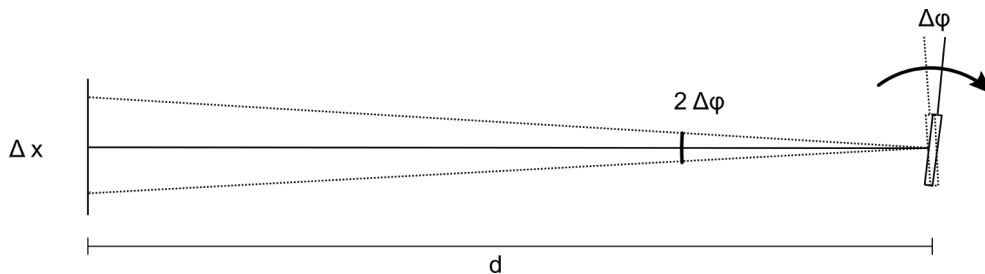


Abb. 2: Ablenkung durch den Spiegel

Der Strahl legt vom Drehspiegel aus in der Zeit Δt die Strecke zur Zeitmessung zwischen dem Drehspiegel und Spiegel a mit der Lichtgeschwindigkeit c zwei mal zurück, also

$$\frac{2 \cdot a}{\Delta t} = c \quad (1)$$

In dieser Zeit hat sich der Drehspiegel um $\Delta \phi$ gedreht. Diese Drehung kann errechnet werden mit

$$\tan \Delta \phi = \frac{\Delta x / 2}{d} \quad (2)$$

wobei d der Abstand zwischen Drehspiegel und Schirm ist. Hier ist darauf zu achten, dass Δx nur halb genommen wird, da sich der Drehwinkel des Strahls nach dem Reflexionsgesetz (Eintrittswinkel gleich Austrittswinkel) durch die Spiegelung verdoppelt.

Da die Auslenkung gegen den Abstand d klein ist, kann der Tangens (wie auch der Sinus) in der Einheit rad dem Winkel gleichgesetzt werden.

$$\begin{aligned} \tan \phi &= \sin \phi = \phi \\ \text{somit} \\ \Delta \phi &= \frac{\Delta x}{2d} \quad (2) \end{aligned}$$

(Dies gilt für kleine Winkel und kann quantitativ mit Hilfe der Taylorentwicklung gezeigt werden)

Mit Werten aus der Vorlesung $\Delta x = 4,2 \text{ mm}$ und $d = 5,2 \text{ m}$ ergibt sich $\Delta \phi = 4,038 \cdot 10^{-4}$, ein Wert der nur mit Hilfe dieses langen Lichtweges ermittelt werden kann!

Aus der Definition für die Winkelgeschwindigkeit

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (3)$$

(oder auch $\omega = 2\pi f$) kann mit einer gemessenen Zeit für eine Spiegelumdrehung von $T = 1,65 \text{ ms}$ das Δt in (1) ersetzt werden. Der Spiegel reflektiert beidseitig, die Zeitmessung mit der Fotodiode liefert in dieser Messung $825 \mu\text{s}$. Bei einer Zeitmessung muss demnach für T das doppelte der auf dem Oszilloskop angezeigten Zeit genommen werden. Für die Lichtgeschwindigkeit ergibt sich somit

$$c = \frac{2 \cdot a \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2 d}{\Delta x T}$$

Mit $a = 15,3 \text{ m}$ liefert eine Messung im WS 2012 $c_m = 2,88 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ für die Lichtgeschwindigkeit.

Die Lichtgeschwindigkeit in Luft und im Vakuum hat für unsere Messung den gleichen Wert von $c_0 = 2,99 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Der Messfehler beträgt hier demnach

$$\frac{c_0 - c_m}{c_0} = \frac{0,11}{2,99} = 0,036 \quad \text{oder weniger als 4\%}$$

Für die Justage hat sich folgende Reihenfolge bewährt:

1. Laser erschütterungsfrei aufstellen und einschalten, zunächst mit Neutralsichtfilter abschwächen.
2. Schirme zum Schutz des Auditoriums aufstellen.
3. **Alle Komponenten müssen auf einer Ebene liegen**, die Höhe des Lasers mit dem Gliedermaßstab vom Boden aus messen. Dieses Maß als Voreinstellung der Höhe für Drehspiegel und Spiegel verwenden.
4. Den Laser entsprechend nivellieren.
5. Der Drehspiegel muss möglichst fest aufgehängt sein, eine Befestigung an der Wand oder mit einer Schraubzwinde am Tisch ist von Vorteil.
6. Den Strahl auf den Drehspiegel ausrichten und diesen mit dem kleinen Stellschlüssel auf den Spiegel lenken.
7. Den Spiegel ausrichten.
8. Strahlteiler einsetzen und ausrichten.
9. 5000 mm Linse zwischen Drehspiegel und ersten Spiegel in den Strahlengang bringen. An der Linsenoberfläche werden 4 Reflexe sichtbar, wenn diese übereinander gebracht werden, sollte sie positioniert sein. (Die Positionierung der Linse ist die „große Kunst“ bei diesem Versuchsaufbau).
10. mit ein wenig Glück wird bei der Positionierung der Linse der Reflex der gemessen werden soll auf dem Schirm sichtbar

Ein möglicher Aufbau ist im Folgenden zu sehen

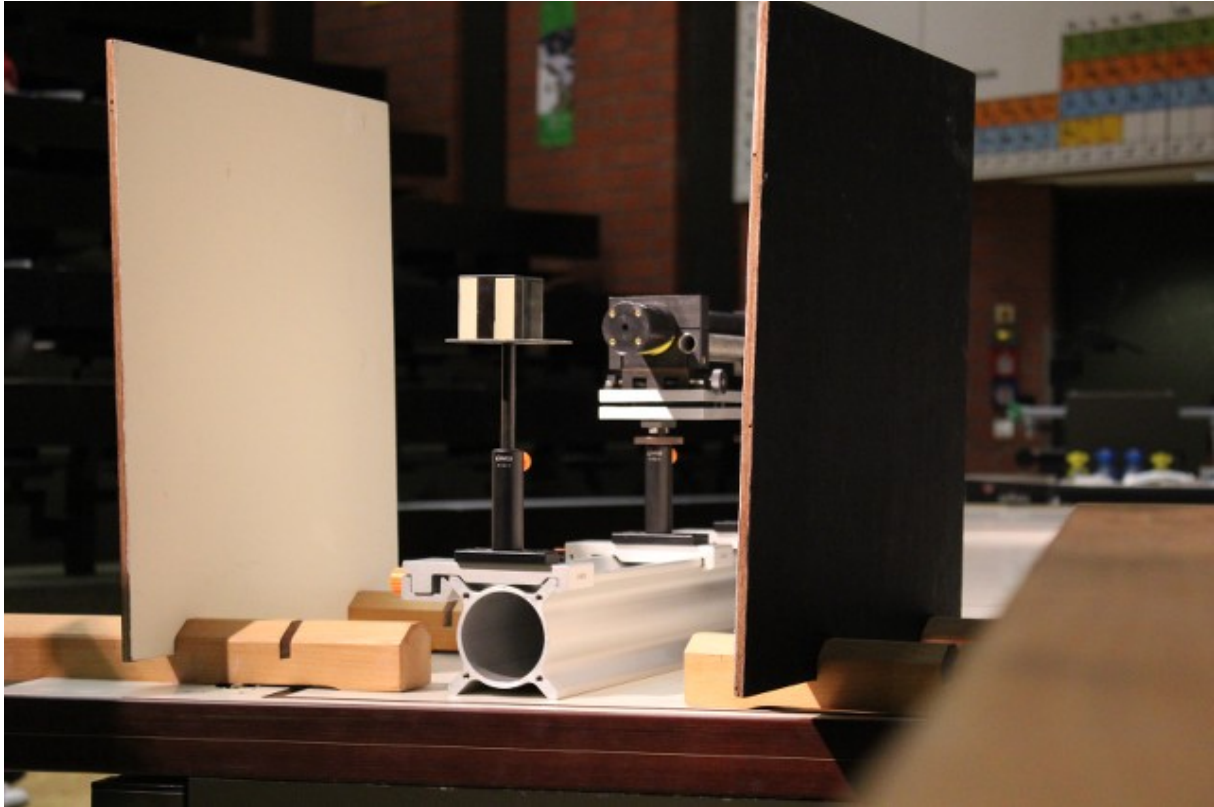


Abb. 3: Laser mit Strahlteiler, der rechte Schirm wird für den Versuch in eine definierte Entfernung gebracht.



Abb. 4: Messung der Umlaufzeit des Spiegels und Geschwindigkeitssteller



Abb. 5: Eine gute Befestigung des Drehspiegels ist wichtig.