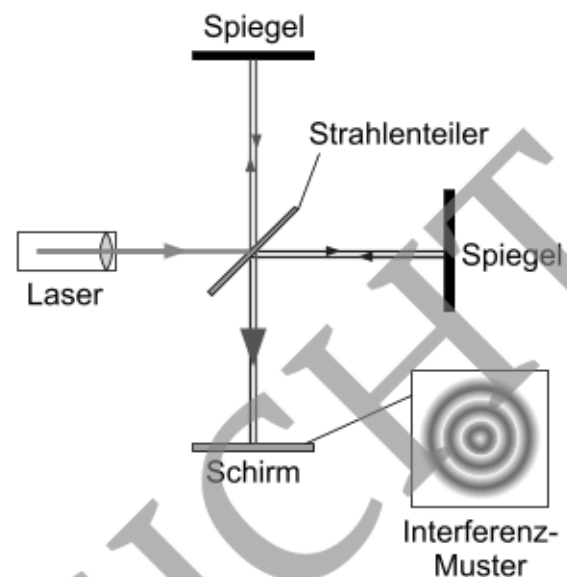


Das Michelson-Morley-Experiment

Axel Donges, Isny im Allgäu

Mit dem **Michelson-Morley-Experiment** sollte die Existenz des Äthers – eines hypothetischen Mediums, in dem sich Lichtwellen ausbreiten – nachgewiesen werden. Alle Versuche, den Äther nachzuweisen, scheiterten jedoch, sodass die Physiker die Idee eines Äthers wieder verwarfen. Den negativen Ausgang des Michelson-Morley-Experiments kann man mithilfe der **speziellen Relativitätstheorie** von Albert Einstein erklären.



Das Michelson-Morley-Experiment (1887) sollte die Existenz des Äthers nachweisen, scheiterte jedoch.

II/D

Der Beitrag im Überblick

Klasse: 12

Dauer: 8 Stunden

Ihr Plus:

- ✓ Das berühmteste misslungene Experiment

Inhalt:

- Wellen in bewegten Wellenträgern
- Michelson-Interferometer
- Äthertheorie
- Michelson-Morley-Experiment
- spezielle Relativitätstheorie

M 1 Schwimmwettkampf im fließenden Gewässer – ist das fair?

Zwei gleich starke Schwimmer – Hans und Fritz – schwimmen in einem ruhenden Gewässer immer gleich schnell, nämlich mit der Geschwindigkeit $c = 1,5 \text{ m/s}$.

Nun schwimmen beide in einem gleichmäßig fließenden Gewässer (Strömungsgeschwindigkeit $v = 1,0 \text{ m/s}$). Beide Schwimmer starten zeitgleich am Punkt P und legen jeweils eine Strecke von $L = 50 \text{ m}$ zurück, um anschließend wieder zum Startpunkt P zurückzuschwimmen. Die Zeitverluste bei der Wende können Sie vernachlässigen.

Hans schwimmt zunächst mit und nach der Wende gegen die Strömung. Fritz wählt eine um 90° gedrehte Schwimmrichtung, d. h., die von ihm zurückgelegten Wege stehen senkrecht zur Strömungsrichtung (Abb. 1.1).

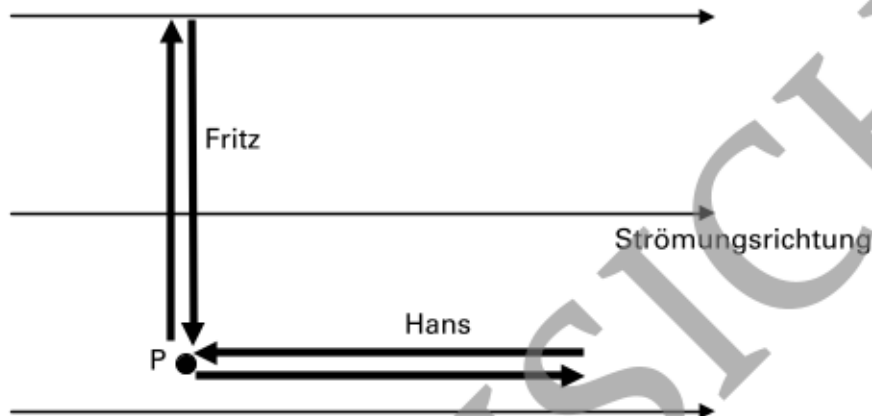


Abb. 1.1: Die unterschiedlichen Wege der beiden Schwimmer

Aufgaben

1. Welche Zeit t_{Hans} benötigt Hans, um die Gesamtstrecke von $2 \cdot L = 100 \text{ m}$ zurückzulegen?
2. Damit Fritz wegen der Strömung auf seinem Weg nicht abdriftet, muss er stets ein wenig „vorhalten“. In welche Richtung muss er daher schwimmen?
3. Welche Zeit t_{Fritz} benötigt Fritz für seinen Weg?
4. Welcher der beiden Schwimmer kommt zuerst wieder am Ausgangspunkt P an? Welchen zeitlichen Vorsprung Δt hat dieser Schwimmer?

Tipp

Beachten Sie, dass ein passiver Schwimmer ($c = 0 \text{ m/s}$) sich trotzdem relativ zum Erdboden mit der Geschwindigkeit v des Wassers bewegt. Offensichtlich addieren sich Schwimm- und Strömungsgeschwindigkeit und ergeben zusammen die Geschwindigkeit relativ zum Grund ¹.

Abb. 1.2: Ein Boot ohne aktiven Antrieb treibt im Wasser. Hier beim Rafting treiben die jungen Leute das Raft zusätzlich an.



© Christine Schmidt / pixelio.de

¹ Siehe auch Animation [1]

M 3 Das Michelson-Interferometer – ein klassisches Experiment

Die in Material M 2 beschriebene Situation (zwei identische Wellen laufen phasengleich unter einem rechten Winkel auseinander und überlagern sich anschließend wieder) lässt sich mit dem aus der Wellenoptik bekannten Michelson-Aufbau praktisch realisieren (s. Abb. 3.1).

Lehrerversuch ⌚ Vorbereitung: 10 min Durchführung: 5 min

Materialien, Geräte

- ☐ Laser
- ☐ Michelson-Interferometer
- ☐ Beobachtungsschirm
- ☐ Linse

Versuchsaufbau und -durchführung

Bei einem **Michelson-Interferometer** wird eine Lichtwelle (divergenter Laserstrahl) mithilfe eines Teilerspiegels in zwei rechtwinklig auseinanderlaufende Teilwellen zerlegt. Nachdem die beiden Teilwellen an jeweils einem Spiegel reflektiert wurden, laufen sie zum Teilerspiegel zurück. Die Anteile, die den Teilerspiegel durchdringen, überlagern sich und interferieren. Auf einem Schirm lassen sich Interferenzstrukturen (Interferenzringe) erkennen.

Die Phasenverschiebung der überlagerten Teilwellen hängt von der Längendifferenz der beiden Interferometerarme ab. Wird einer der beiden Spiegel um eine viertel Wellenlänge verschoben, so ändert sich der Gangunterschied der überlagerten Teilwellen um eine halbe Wellenlänge. Aus hellen Interferenzringen (konstruktive Interferenz) werden dann dunkle Interferenzringe (destruktive Interferenz) und umgekehrt. Wird der Spiegel um eine weitere viertel Wellenlänge verschoben – insgesamt ist die Verschiebung nun eine halbe Wellenlänge – ist alles wieder beim Alten.

Aufgabe

Wird bei einem Michelson-Interferometer ein Spiegel um 150 nm verschoben, wandeln sich die hellen in dunkle Interferenzringe um und umgekehrt.

Welche Wellenlänge hat das verwendete Licht?

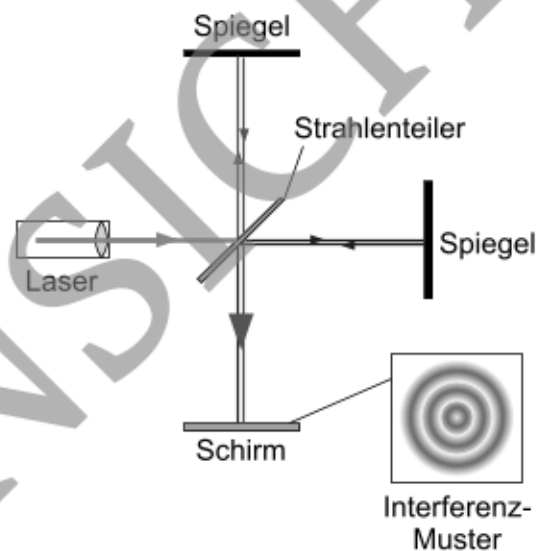


Abb. 3.1: Schematischer Aufbau eines Michelson-Interferometers

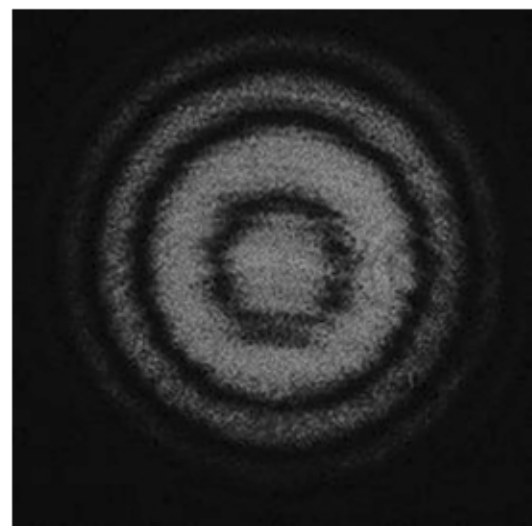


Abb. 3.2: Typische Interferenzringe

Bild: © FL0. Lizenz: CC BY-SA 3.0 DE
(<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/deed.de>)

II/D

Beispiel

Eine bewegte Kugel wird von einem mitbewegten Beobachter A (Beobachter sitzt auf der Kugel, wie Baron Münchhausen!) als Kugel wahrgenommen. Ein Beobachter B im Ruhesystem, an dem die Kugel mit der Geschwindigkeit $\vec{v}$ vorbeifliegt, sieht eine (in Ausbreitungsrichtung) deformierte Kugel (Lorentz-Kontraktion, siehe Abb. 6.1).

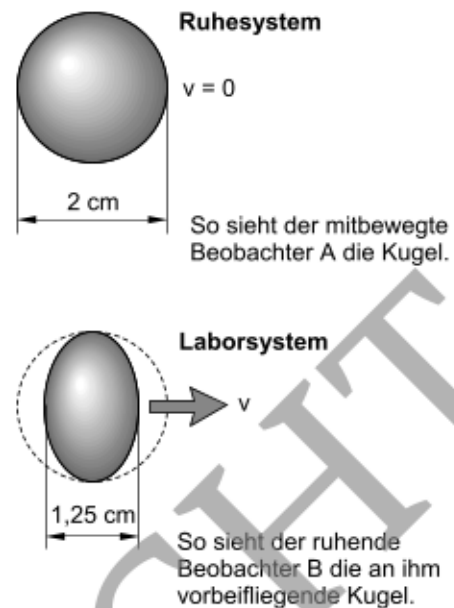


Abb. 6.1: Lorentz-Kontraktion einer Kugel

Aufgaben

- a) Schätzen Sie die Geschwindigkeit ab, mit der sich die Kugel (Abb. 6.1) im Laborsystem bewegt.

b) Der auf der bewegten Kugel (Abb. 6.1) mitfliegende Beobachter A misst die Halbwertszeit eines radioaktiven Präparates, das sich ebenfalls auf der Kugel befindet, zu $T_{1/2, A} = 1000$ s. Welche Halbwertszeit $T_{1/2, B}$ würde der ruhende Beobachter B, an dem die Kugel vorbeifliegt, feststellen?
- Zwei Schnellzüge A und B fahren – auf zwei geraden, parallelen Gleisen – aufeinander zu bzw. aneinander vorbei (Abb. 6.2). Ihre Geschwindigkeitsbeträge (bezogen auf die ruhenden Gleise) sind $v_A = 0,3 \cdot c$ (Zug A) bzw. $v_B = 0,8 \cdot c$ (Zug B). Beide Züge haben eine Länge von $L = 200$ m.

a) Welche Zuglängen stellt ein im Zug A mitreisender Passagier fest?

b) Wie lange dauert ein freier Fall aus 2,0 m Höhe, den ein Passagier in Zug A / in Zug B beobachtet?

Der Fallversuch wird in Zug B durchgeführt.



© Stefan Gyger, Amsoldingen (CH), 10.08.2010

Abb. 6.2: Zwei thailändische Züge fahren aneinander vorbei. Jeder Zug entspricht einem eigenen Bezugssystem.