

Übungen zur Experimentalphysik I — Blatt 13

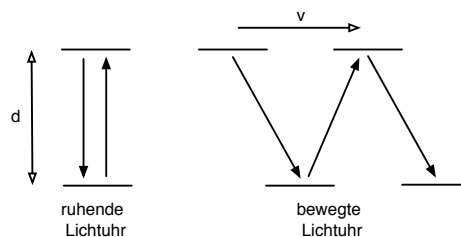
Aufgabe 1: *Lichtuhr*

5 Punkte

Eine Lichtuhr ist ein Gedankenexperiment mit zwei planparallelen Spiegeln im Abstand d , zwischen denen ein Photon (Lichtteilchen) hin- und her fliegen kann. Leiten Sie mithilfe einer (relativ zur Erde) ruhenden und einer mit der Geschwindigkeit v relativ dazu bewegten Lichtuhr und Zeichnungen dazu die Formeln (beide Transformationsrichtungen) für die Zeitdilatation her:

$$\Delta t'_A = \kappa_A \Delta t_A \quad \Delta t_B = \kappa_B \Delta t'_B,$$

wobei Δt und $\Delta t'$ die Zeiteinheiten im System der ruhenden bzw. der bewegten Uhr bezeichnen. Die Indizes A und B geben an, dass diese Zeiteinheit von einem Beobachter gemessen wird, der im Bezugssystem der ruhenden bzw. bewegten Uhr ruht. Bestimmen Sie die Faktoren κ_A und κ_B als Funktion der Relativgeschwindigkeit v .



Aufgabe 2: *Lorentztransformationen*

4 Punkte (2 + 2)

Gegeben seien zwei Inertialsysteme S und S' . Das Inertialsystem S' bewege sich mit einer hohen konstanten (*relativistischen*) Geschwindigkeit $\vec{v} = (v, 0, 0)$ relativ zu S . Zum Zeitpunkt $t' = t = 0$ ist der Koordinatenursprung von S' gleich dem von S , also $x' = x = 0$.

- Ein Objekt A bewege sich im System S mit der Geschwindigkeit $\vec{u} = (c/3, c/9, 0)$. Wie sieht der Geschwindigkeitsvektor in S' aus, wenn $v = c/4$ beträgt? (Beachten Sie, dass die Geschwindigkeitskomponenten in den beiden Systemen definiert sind als dx/dt , dy/dt , dz/dt bzw. dx'/dt' , dy'/dt' , dz'/dt' .)
- Zeigen Sie, dass die Lichtgeschwindigkeit in beiden Systemen den gleichen Wert besitzt, indem Sie von einem Geschwindigkeitsvektor \vec{u} im System S mit $|\vec{u}| = c$ ausgehen. (Tipp: Sie können z.B. eine Zeit Δt und die während der Zeit Δt zurückgelegte Strecke $\Delta x = c \cdot \Delta t$ von S nach S' transformieren und $\Delta x'/\Delta t'$ ausrechnen.)

Aufgabe 3: *Michelson-Morley-Experiment*

4 Punkte

Skizzieren und beschreiben Sie das Michelson-Morley-Experiment. Welches Ergebnis wurde erwartet und welches beobachtet? Welches Postulat der speziellen Relativitätstheorie basiert auf diesem Ergebnis?

(bitte wenden)

Aufgabe 4: Minkowski-Diagramm

6 Punkte (4 + 2)

Zwei Raumstationen R_1 und R_2 ruhen im System S im festen Abstand von 1 Lichtstunde (Lh) voneinander. Ihre Uhren seien synchronisiert. Zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ h passiert das Raumschiff SpX' (mit dem Eigensystem S') die Station R_1 fahrplanmäßig in Richtung auf R_2 mit der Geschwindigkeit $0,6c$ (Ereignis P). Die Borduhr von S' zeigte im Vorbeiflug die Zeit $t'_0 = 0$ h an.

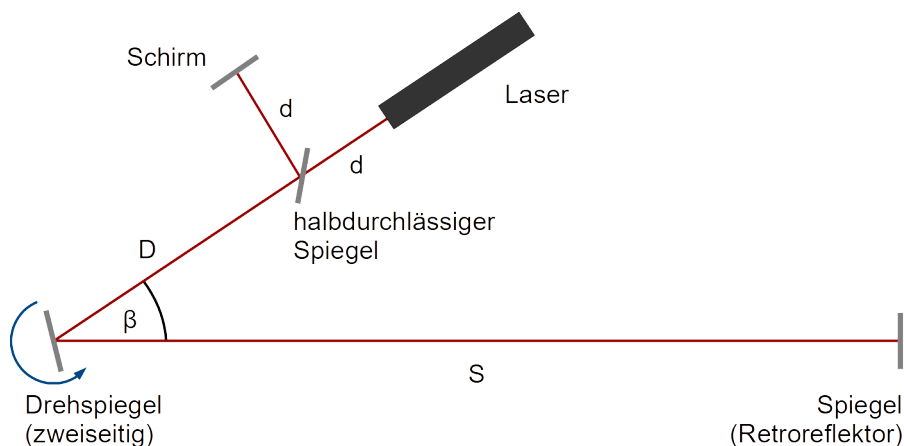
Zum Zeitpunkt $t=0,5$ h registriert R_2 einen mit der Geschwindigkeit $0,8c$ vorbeifliegenden Meteoriten M in Richtung auf S' und R_1 (Ereignis δ).

- Tragen Sie in einem Minkowski-Diagramm (kartesisches Koordinatensystem für S , siehe Vorlesung Abschnitt 5.2.4) die Weltlinien von R_1 , R_2 , SpX' und M ein. Tragen Sie außerdem die Koordinatenachsen für S' ein.
- Zu welcher S -Zeit t_K und in welcher Entfernung x_K von R_1 befürchtet die Besatzung von R_2 eine gefährliche Kollision (Ereignis K) von M und SpX' ? Ermitteln Sie die Lösung graphisch.

Aufgabe 5: Messung der Lichtgeschwindigkeit

6 Punkte (2 + 2 + 1 + 1)

Dr. M. hat noch Zeit in den Semesterferien und möchte die Lichtgeschwindigkeit messen. Er benutzt die in der Vorlesung angesprochene Drehspiegelmethode mit einem beidseitig reflektierenden Drehspiegel. Dazu ein paar Definitionen: Sei $\beta \approx 34^\circ$ der Winkel für die perfekt eingestellte Apparatur, bei welcher der Lichtfleck auf der '0'-Position des Schirms liegt. Weiterhin sei $d = 0,3$ m der Abstand zwischen halbdurchlässigem Spiegel und Schirm bzw. zwischen halbdurchlässigem Spiegel und Laser, sowie $D = 2,65$ m der Abstand zwischen Drehspiegel und halbdurchlässigem Spiegel. Der Hauptarm des Versuchsaufbaus hat die Länge $S = 15$ km.



- Um ein zuverlässiges Ergebnis zu bekommen, misst er für acht verschiedene Drehfrequenzen des Spiegels jeweils die Verschiebung des Lichtflecks. Die Drehfrequenz misst er dabei mit einer Fotodiode und einem Frequenzzähler. Erläutern Sie den Versuchsaufbau anhand der Skizze.
- Er führt dann eine lineare Regression an die acht Messergebnisse durch, und erhält als Steigung der Geraden die Lichtgeschwindigkeit. Welche Größen trägt er gegeneinander auf?
- Das Ergebnis der Messung ist $(2,79 \pm 0,06) \cdot 10^8$ m/s, wobei der angegebene Fehler die statistische Unsicherheit der Messung ist. Wie beurteilen Sie das Ergebnis?

- d) Prof. H. sieht Dr. M. beim Experimentieren, und macht ihn auf das aufmerksam, was er eigentlich auch weiß: Keine Messung ohne Betrachtung der systematischen Unsicherheiten. Er kennt die Tücken des Aufbaus, und gibt Dr. M. die Unsicherheiten der Frequenzmessung und der Streckenmessungen, woraus dieser einen systematischen Fehler auf den Mittelwert aller Messungen von $+1,9 \cdot 10^7$ m/s ermittelt. Wie beurteilen Sie das Endergebnis aller Messungen?

Allgemeiner Hinweis: Bitte rechnen Sie grundsätzlich so lange wie möglich mit den Variablen, d.h. setzen Sie die gegebenen Zahlenwerte erst ganz am Schluss ein.