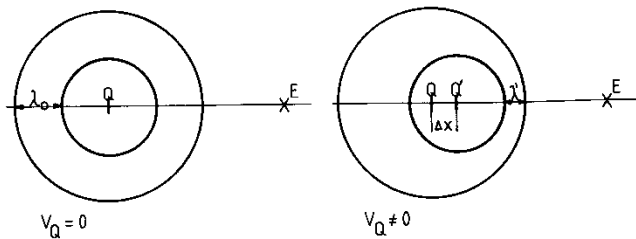


Fragen: allgemeine Wellengleichung, Schallwellen, Dopplereffekt,



Schematische Darstellung zum DOPPLER-Effekt.

Aufgabe: Der DOPPLER-Effekt an Schallwellen ist experimentell zu untersuchen. Aus der DOPPLER-Frequenzverschiebung wird die Schallgeschwindigkeit in Luft bestimmt.

Grundlagen: Eine Schallquelle (Sender) Q, die relativ zum umgebenden Medium in Ruhe ist, sendet Kugelwellen konstanter Wellenlänge λ_0 aus (s. Abb.). Wellenlänge λ_0 , Frequenz f_0 und Schallausbreitungsgeschwindigkeit c sind miteinander verknüpft:

$$c = \lambda_0 f_0. \quad (1)$$

Ein Beobachter (Empfänger) E, der sich auf die Schallquelle zubewegt, nimmt im Vergleich zu einem ruhenden Empfänger eine Schallwelle erhöhter Frequenz f_E wahr (DOPPLER-Effekt). Bewegt sich der Empfänger mit der Geschwindigkeit v_E , so ergibt sich als Relativgeschwindigkeit zwischen den Wellenfronten und dem Empfänger:

$$c' = c + v_E. \quad (2)$$

Für die registrierte Empfängerfrequenz gilt dann:

$$f_E = f_0 + v_E / \lambda_0. \quad (3)$$

Unter Beachtung von (1) ergibt sich:

$$f_E = f_0 (1 + v_E / c). \quad (4a)$$

Bewegt sich der Empfänger von der Quelle fort, so wird eine Frequenzverringerng wahrgenommen:

$$f_E = f_0 (1 - v_E / c). \quad (4b)$$

Wenn der Empfänger in Bezug auf das umgebende Medium ruht, die Quelle sich aber dagegen mit einer Geschwindigkeit v_Q bewegt, registriert der Empfänger ebenfalls eine Frequenzänderung, die aber nicht mit den obigen Gleichungen (4) übereinstimmt. Dies liegt daran, dass zwischen Sender und Empfänger in beiden Fällen stets ein ruhendes, den Schall übertragendes Medium liegt. Die Berücksichtigung lediglich einer relativen Bewegung zweier gleichförmig bewegter Bezugssysteme zueinander würde den Sachverhalt nicht vollständig richtig wiedergeben. Bewegt sich die Schallquelle mit einer Geschwindigkeit v_Q auf den ruhenden Empfänger zu, so sind die von der Quelle ausgehenden Schallwellen zwar noch Kugelwellen, aber nicht mehr konzentrisch, da sich das Quellenzentrum während der Schwingungsdauer T_0 um die Strecke Δx fortbewegt hat. Für den während der Schwingungsdauer T_0 zurückgelegten Weg Δx gilt:

$$\Delta x = v_Q T_0 = v_Q / f_0. \quad (5)$$

Im Gegensatz zu dem eingangs besprochenen Fall und wie auch unmittelbar aus der Zeichnung ersichtlich, ist hier die Wellenlänge verändert. Die gegenüber der Ruhewellenlänge λ_0 kürzeste Wellenlänge λ' tritt in Richtung Quellengeschwindigkeit auf:

$$\lambda' = \lambda_0 - \Delta x = (c - v_Q) / f_0. \quad (6a)$$

Die längste Wellenlänge tritt in entgegengesetzter Richtung auf:

$$\lambda' = \lambda_0 + \Delta x = (c + v_Q) / f_0. \quad (6b)$$

Bei Annäherung der Quelle an den Empfänger registriert dieser die Frequenz:

$$f_E = f_0 (1 - v_Q / c)^{-1}. \quad (7a)$$

und bei Entfernung der Quelle entsprechend:

$$f_E = f_0 (1 + v_Q / c)^{-1}. \quad (7b)$$

Nur für kleine Werte von v/c , wenn also gilt $v_E \ll c$ und $v_Q \ll c$ stimmen die Gleichungen (4) und (7) überein. Die Frequenzänderung ist also nicht genau dieselbe, wenn die Quelle sich

mit der Geschwindigkeit v gegen den ruhenden Beobachter oder der Beobachter sich mit gleicher Geschwindigkeit gegen die ruhende Quelle bewegt!

Versuchsbeschreibung. Der Versuch besteht darin, dass ein beweglicher Empfänger (Messwagen mit Mikrofon) motorgetrieben auf einer Schiene sich bewegt und das Frequenzsignal eines am Ende der Schiene fest installierten Senders empfängt. Das je nach Messwagengeschwindigkeit veränderte Empfangssignal (Frequenz f_E) wird vom Messwagen über einen Minisender drahtlos an die Registriereinrichtung gesendet, dort digital gewandelt und gezählt. Das Experiment wird mit verschiedenen Empfängergeschwindigkeiten, sowohl auf die Schallquelle zu als auch von ihr weg, durchgeführt.

Versuchsdurchführung. Im DOPPLER-Experiment ist nun die Frequenzverschiebung infolge des DOPPLER-Effektes für mindestens 10 verschiedene Messwagengeschwindigkeiten tabellarisch aufzunehmen. Die Geschwindigkeit des Messwagens ist über ein Potentiometer, das die Motorspannung steuert (Variationsbereich: 3 - 13 V), variabel einstellbar. Nach Vorgabe der Geschwindigkeit werden diese und die Frequenz für den Hin- und Rückweg des Messwagens aufgenommen. Beachten Sie bei Ihren Messungen, dass der Messwagen zur Erreichung einer konstanten Geschwindigkeit eine Vorlaufstrecke von etwa 5 cm benötigt.

An den Enden der Laufschiene befinden sich Lichtschranken. Sobald sie durchfahren werden, wird das Fahrzeug zum Stillstand gebracht. Nach erneuter Betätigung des Startknopfes am Motorgehäuse startet der Messwagen in umgekehrter Richtung.

Die Geschwindigkeitsmessung wird als eine normale Weg-Zeitmessung mit der Stoppuhr durchgeführt. Als Sender (Schallquelle) dient ein Lautsprecher (Hochtöner), dessen Frequenz von einem Frequenzgenerator vorgegeben wird (empfohlene Einstellung: ca. 19 kHz). Diese Sendefrequenz wird bei ruhendem Messwagen vom Frequenzzähler angezeigt. Sie ist während des Versuches wiederholt zu kontrollieren. Da die Schallgeschwindigkeit temperaturabhängig ist, ist die Raumtemperatur im Messprotokoll festzuhalten.

Auswertung. 1. Tragen Sie in einem einzigen Diagramm die jeweils gemessene Empfängerfrequenz f_E (Ordinate) als Funktion der zugehörigen Hin-(+v) und Rückgeschwindigkeit (-v) des Messwagens auf. 2. Ermitteln Sie aus der Steigung der Ausgleichsgeraden, die durch den Ausdruck f_0/c bestimmt ist, die Schallgeschwindigkeit c mit ihrem geschätzten Fehler. Vergleichen Sie mit dem Literaturwert.

Literatur. [HR], [De], [Ti], [HM]

Version 4-1-2010