

Aufgaben 13 Doppler-Effekt

Lernziele

- den Doppler-Effekt verstehen.
- die Zusammenhänge zwischen gesendeter und wahrgenommener Frequenz beim Doppler-Effekt verstehen und anwenden können.
- den Unterschied zwischen dem Doppler-Effekt bei mechanischen Wellen und dem Doppler-Effekt bei elektromagnetischen Wellen kennen und verstehen.

Aufgaben

13.1 Bewegte Quelle, ruhender Beobachter

Eine Quelle bewegt sich mit der Geschwindigkeit v auf einen ruhenden Empfänger **zu** und sendet einen Ton der Wellenlänge λ_Q (Frequenz f_Q , Periode T) aus.

Wie im Unterricht aufgezeigt wurde, registriert der Beobachter einen Ton der (kleineren) Wellenlänge

$$\lambda_B = \lambda_Q - v \cdot T \quad (1)$$

- Leiten Sie aus (1) eine Beziehung zwischen der von der Quelle ausgesandten Frequenz f_Q und der vom Beobachter registrierten (höheren) Frequenz f_B her. Drücken Sie f_B in Abhängigkeit von f_Q , v und der Schallgeschwindigkeit c aus.
- Bestimmen Sie für den Fall, dass sich der Sender vom Empfänger **weg**bewegt, ...
 - ... die zu (1) analoge Beziehung zwischen λ_Q und λ_B .
 - ... die entsprechende Beziehung zwischen f_Q und f_B .

- 13.2 An einem ruhenden Beobachter fährt eine pfeifende Lokomotive (1500 Hz) mit einer Geschwindigkeit von 120 km/h vorbei.

Bestimmen Sie die Frequenz des Tones, den der Beobachter ...

- ... vor dem Vorbeifahren der Lokomotive hört.
- ... nach dem Vorbeifahren der Lokomotive hört.

- 13.3 Bei einem Marschmusikwettbewerb marschiert eine Blaskapelle an einer Jury vorbei.

Wie schnell müssten die Musiker marschieren, damit die Jury-Mitglieder die Musik nach dem Vorbeimarsch um einen halben Ton tiefer hören würden als beim Herannahen der Kapelle?

Hinweis:

- Das Frequenzverhältnis zweier Töne, die sich um einen halben Ton unterscheiden, beträgt 16:15.

13.4 Ruhende Quelle, bewegter Beobachter

Ein Beobachter bewegt sich mit der Geschwindigkeit v auf eine ruhende Quelle **zu**, welche einen Ton der Frequenz f_Q aussendet.

Wie im Unterricht aufgezeigt wurde, registriert der Beobachter einen Ton der (höheren) Frequenz f_B , wobei die folgenden beiden Beziehungen gelten:

$$c = \lambda_Q \cdot f_Q \quad (2)$$

$$c + v = \lambda_B \cdot f_B \quad (3)$$

$$\lambda_B = \lambda_Q \quad (4)$$

- a) Leiten Sie aus (2) bis (4) eine Beziehung zwischen der von der Quelle ausgesandten Frequenz f_Q und der vom Beobachter registrierten (höheren) Frequenz f_B her.
- b) Bestimmen Sie für den Fall, dass sich der Beobachter von der Quelle **wegbewegt**, ...
- i) ... die zu (3) analoge Beziehung.
- ii) ... die entsprechende Beziehung zwischen f_Q und f_B .
- 13.5 Die Hupe eines stehenden Autos besitze die Frequenz 440 Hz.
Bestimmen Sie die Frequenz, die ein anderer Autofahrer wahrnimmt, wenn er sich mit 100 km/h ...
- a) ... nähert.
- b) ... entfernt.
- Hinweis:
- Für diese Aufgabe können Sie einen Taschenrechner verwenden.
- 13.6 * **Bewegte Quelle, bewegter Beobachter**
Eine Quelle und ein Beobachter bewegen sich auf einer gemeinsamen Geraden, die Quelle mit der Geschwindigkeit v_Q , der Beobachter mit der Geschwindigkeit v_B .
Die Quelle sendet einen Ton der Frequenz f_Q aus, der Beobachter empfängt einen Ton der Frequenz f_B .
Bestimmen Sie die Beziehung zwischen den beiden Frequenzen f_Q und f_B . Berücksichtigen Sie dabei alle zu unterscheidenden Fälle für die Bewegungsrichtungen von Quelle und Beobachter.
- 13.7 Ein Autofahrer wird von der Polizei angehalten und gebüsst, weil er ein Rotlicht überfahren haben soll. Der Autofahrer wehrt sich: Er behauptet, Grün gesehen zu haben, und führt dies auf den Doppler-Effekt zurück.
Beurteilen Sie die Argumentation des Autofahrers: Bestimmen Sie die Geschwindigkeit, mit welcher ein Autofahrer fahren müsste, um das rote Licht einer Ampel wegen des Dopplereffekt als grünes Licht zu sehen.
- 13.8 Ein Auto fährt geradlinig auf ein Polizei-Radargerät zu.
Das Radargerät sendet eine Radarwelle der Frequenz f in Richtung des Autos aus. Die Welle wird vom Auto reflektiert und gelangt wieder zum Radargerät zurück. Das Radargerät registriert die Frequenz f_R der reflektierten Welle und vergleicht sie mit der Frequenz f der ausgesendeten Welle.
Bestimmen Sie aus den Frequenzen f und f_R die Geschwindigkeit v des Autos.
- 13.9 Betrachten Sie noch einmal die Aufgabe 13.8. Jemand realisiert nicht, dass es sich bei den Radarwellen um elektromagnetische Wellen handelt, und verwendet die Formeln für den Doppler-Effekt bei mechanischen Wellen.
- a) Bestimmen Sie die Geschwindigkeit v , die sich aus dieser falschen Betrachtung aus den Frequenzen f und f_R ergibt.
- b) Vergleichen Sie die Ergebnisse aus 13.8 und 13.9 a).
- 13.10 (siehe nächste Seite)

- 13.10 Beurteilen Sie, ob die folgenden Aussagen wahr oder falsch sind.
Kreuzen Sie das entsprechende Kästchen an.

	wahr	falsch
a) Der Doppler-Effekt tritt sowohl bei Schallwellen als auch bei elektromagnetischen Wellen auf.	☐	☐
b) Beim Doppler-Effekt von Schallwellen kommt es nur auf die Relativgeschwindigkeit zwischen Quelle und Beobachter an.	☐	☐
c) Beim Doppler-Effekt von elektromagnetischen Wellen kommt es auf die Geschwindigkeiten der Quelle und des Beobachters relativ zum Wellenträger an.	☐	☐
d) Bewegen sich Quelle und Beobachter einer elektromagnetischen Welle aufeinander zu, dann registriert der Beobachter eine Welle grösserer Wellenlänge., als wenn sie sich voneinander entfernen.	☐	☐
e) Der Doppler-Effekt ist bei Schallwellen schwächer ausgeprägt als bei optischen Wellen, weil die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schallwellen viel kleiner ist als jene optischer Wellen.	☐	☐

Lösungen

13.1 a) $f_B = \frac{f_Q}{1 - \frac{v}{c}}$ $c = \text{Schallgeschwindigkeit}$

b) i) $\lambda_B = \lambda_Q + v \cdot T$

ii) $f_B = \frac{f_Q}{1 + \frac{v}{c}}$

13.2 a) vor dem Vorbeifahren
 $f_B = \frac{f_Q}{1 - \frac{v}{c}} \approx 1660 \text{ Hz}$ (Annahme: $c = 340 \text{ m/s}$)

b) nach dem Vorbeifahren
 $f_B = \frac{f_Q}{1 + \frac{v}{c}} \approx 1370 \text{ Hz}$ (Annahme: $c = 340 \text{ m/s}$)

13.3 $\frac{f_{B1}}{f_{B2}} = k$
 $f_{B1} = \frac{f_Q}{1 - \frac{v}{c}}$ $c = \text{Schallgeschwindigkeit}$
 $f_{B2} = \frac{f_Q}{1 + \frac{v}{c}}$

$\Rightarrow v = \frac{k-1}{k+1} c = 11 \text{ m/s} = 39 \text{ km/h}$ (Annahme: $c = 340 \text{ m/s}$)

Dies liegt über dem 100-m-Weltrekord!

13.4 a) $f_B = f_Q \left(1 + \frac{v}{c}\right)$ $c = \text{Schallgeschwindigkeit}$

b) i) $c - v = \lambda_B \cdot f_B$

ii) $f_B = f_Q \left(1 - \frac{v}{c}\right)$

13.5 a) beim sich Nähern
 $f_B = f_Q \left(1 + \frac{v}{c}\right) = 476 \text{ Hz}$ (Annahme: $c = 340 \text{ m/s}$)

b) beim sich Entfernen
 $f_B = f_Q \left(1 - \frac{v}{c}\right) = 404 \text{ Hz}$ (Annahme: $c = 340 \text{ m/s}$)

13.6 * a) Quelle und Beobachter bewegen sich in entgegengesetzten Richtungen aufeinander zu.

$$f_B = f_Q \frac{c + v_B}{c - v_Q}$$

b) Quelle und Beobachter bewegen sich in entgegengesetzten Richtungen voneinander weg.

$$f_B = f_Q \frac{c - v_B}{c + v_Q}$$

c) Der Beobachter bewegt sich hinter der Quelle her.

$$f_B = f_Q \frac{c + v_B}{c + v_Q}$$

Bemerkung: $f_B = f_Q$, falls $v_B = v_Q$

d) Die Quelle bewegt sich hinter dem Beobachter her.

$$f_B = f_Q \frac{c - v_B}{c - v_Q}$$

Bemerkung: $f_B = f_Q$, falls $v_B = v_Q$

$$13.7 \quad v = \frac{1 - \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^2}{1 + \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^2} c = 4.90 \cdot 10^7 \text{ m/s} = 1.76 \cdot 10^8 \text{ km/h}$$

Annahmen: $\lambda_1 = \lambda_{\text{grün}} = 530 \text{ nm}$, $\lambda_2 = \lambda_{\text{rot}} = 625 \text{ nm}$

(vgl. Lehrbuch Tipler/Mosca, Beispiel 31.4, Seite 1130)

- 13.8 Hinlaufende Radarwelle: Radargerät $\rightarrow$ Auto
 - Das Radargerät sendet eine Radarwelle der Frequenz f aus.
 - Das Auto empfängt eine Welle der Frequenz f_1 .

Reflektierte Radarwelle: Auto $\rightarrow$ Radargerät

- Das Auto reflektiert eine Welle der Frequenz f_1 .
 - Das Radargerät empfängt eine Welle der Frequenz f_R .

$$f_1 = \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}} f \quad c = \text{Ausbreitungsgeschwindigkeit der Radarwelle}$$

$$f_R = \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}} f_1$$

$$\Rightarrow v = \frac{f_R - f}{f_R + f} c$$

- 13.9 a) Hinlaufende Radarwelle: Radargerät $\rightarrow$ Auto
 - Das Radargerät sendet eine Radarwelle der Frequenz f aus (ruhende Quelle).
 - Das Auto empfängt eine Welle der Frequenz f_1 (bewegter Beobachter).

Reflektierte Radarwelle: Auto $\rightarrow$ Radargerät

- Das Auto reflektiert eine Welle der Frequenz f_1 (bewegte Quelle).
 - Das Radargerät empfängt eine Welle der Frequenz f_R (ruhender Beobachter).

$$f_1 = f \left(1 + \frac{v}{c}\right) \quad c = \text{Ausbreitungsgeschwindigkeit der Radarwelle}$$

$$f_R = \frac{f_1}{1 - \frac{v}{c}}$$

$$\Rightarrow v = \frac{f_R - f}{f_R + f} c$$

- b) Die Ergebnisse für v und f_R sind zufälligerweise gleich. Die Ergebnisse für f_1 sind jedoch verschieden.

- 13.10 a) wahr
 b) falsch
 c) falsch
 d) falsch
 e) falsch