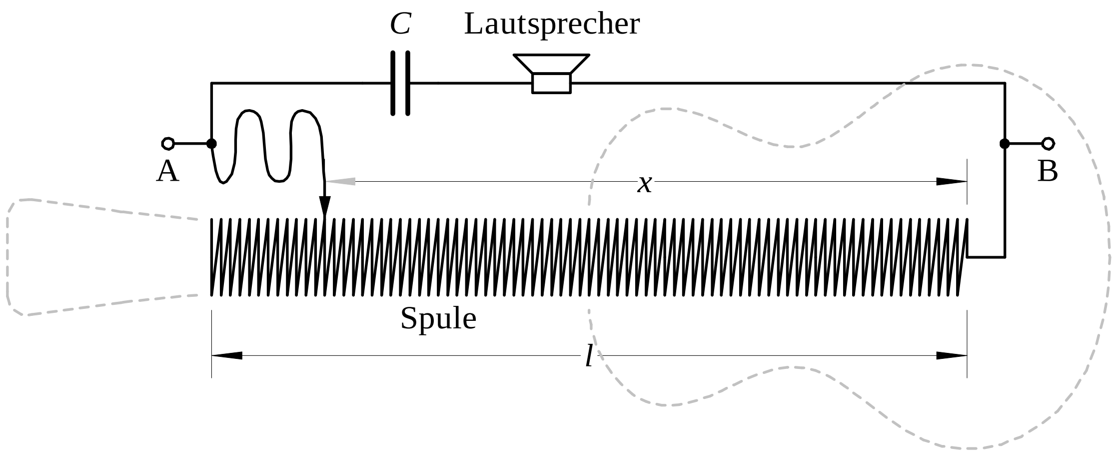
1. Schwingkreis-Gitarre

Eine langgestreckte ideale Spule besitzt $N = 2500$ Windungen, welche gleichmäßig auf einen zylindrischen Spulenkörper vom Durchmesser $d = 3,0\,\text{cm}$ und der Länge $\ell = 65,0\,\text{cm}$ gewickelt sind. Die Spule soll als luftgefüllt behandelt werden. Durch einen Schleifkontakt ist es möglich, beliebige Teillängen x der Spule abzugreifen. Der abgegriffene Teil der Spule bildet zusammen mit einem Kondensator der Kapazität $C = 61\,\mu\text{F}$ einen elektromagnetischen Schwingkreis. Im Schwingkreis befindet sich ein (idealer) Lautsprecher. Durch eine Rückkoppelschaltung an den Anschlüssen A und B wird der Schwingkreis zu ungedämpften Schwingungen veranlasst.



5 BE a) Mit welcher Frequenz schwingt der Schwingkreis für $x = \ell = 65,0\,\text{cm}$, d. h. wenn die gesamte Spule im Schwingkreis wirksam ist?
(Zwischenergebnis: $L = 8,5\,\text{mH}$, Ergebnis: $0,22\,\text{kHz}$)

4 BE b) Der Scheitelwert der Kondensatorspannung wird im Fall der Teilaufgabe a zu $2,0\,\text{V}$ gemessen. Welche **effektive** Stromstärke fließt dann durch die Spule?

6 BE c) Wie groß muss x gewählt werden, damit ein Ton der Frequenz $0,44\,\text{kHz}$ erklingt?
(Ergebnis: $16\,\text{cm}$)

2 BE d) Welches Tonintervall begrenzen die Töne aus den Teilaufgaben a und c?

2 BE e) Der Schwingkreis-Spule soll nun eine Gitarren-Saite der Länge ℓ gegenübergestellt werden, welche durch Niederdrücken auf das Griffbrett auf die Länge x verkürzt werden kann. Unverkürzt soll die Saite mit $0,22\,\text{kHz}$ schwingen.
Ist das Spielgefühl auf der Spule bezüglich Tonhöhen und Abgrifflängen x dem auf der Gitarren-Saite ähnlich? (Begründung!)

2. Polarisation von Licht

8 BE Ein Strahl unpolarisierten Lichts trifft so auf eine plane Glasplatte, dass der reflektierte Strahl vollständig polarisiert ist. Leite anhand einer aussagekräftigen Skizze die für diesen Fall geltende Beziehung

$$\tan \varepsilon = n$$

zwischen dem Einfallswinkel ε und der Brechzahl n her.

3. **Mikrowellen**

Mit einem Doppelspalt soll die Frequenz von Mikrowellenstrahlung gemessen werden.

5 BE a) Erstelle eine beschriftete Skizze der Versuchsanordnung. Beschreibe die Versuchsdurchführung und die dabei gemachten Beobachtungen. Durch welches Prinzip kann man die Mikrowellen dabei akustisch wahrnehmbar machen.

Im Versuch haben die Spaltmitten einen Abstand von 12 cm. Die Maxima und Minima werden in sehr großem Abstand vom Doppelspalt beobachtet.

6 BE b) Das Maximum 2. Ordnung erscheint unter einem Winkel von 32° gegenüber dem Maximum 0. Ordnung. Berechne Wellenlänge und Frequenz der verwendeten Mikrowellenstrahlung. (Zur Kontrolle: $\lambda = 3,2\,\text{cm}$)

4 BE c) Bis zu welcher Ordnung kann man unter günstigsten Bedingungen Maxima beobachten? (Begründung!)

4 BE d) Beschreibe einen weiteren Versuch, welcher nicht auf Beugung beruht, mit dem man die Wellenlänge von Mikrowellen bestimmen kann. Gib an, welche Größen dazu gemessen werden und wie man daraus die Wellenlänge ermittelt.

4. **Versuch von Appleton und Barnett**

6 BE a) Vorüberlegung:
Zwei parallele Sendedipole S_1 und S_2 im Abstand Δs senden gleichphasig mit variabler Frequenz f. In einem hinreichend großen Abstand von beiden Sendedipolen werde ein paralleler Empfangsdipol E so aufgestellt, dass die Dipole in einer Reihe stehen.
Bei zunehmender Frequenz registriert der Empfänger E abwechselnd eine minimale und maximale Empfangsamplitude. Die Frequenzen f_1 und $f_2 = f_1 + \Delta f$ sollen dabei zu benachbarten Maxima gehören.

Zeige, dass mit der Lichtgeschwindigkeit c gilt:

$$\Delta s = \frac{c}{\Delta f} \ .$$

Hilfe: Stelle Terme für f_1 und f_2 auf (Maximum k-ter bzw. $(k+1)$-ter Ordnung!)

8 BE b) Appleton und Barnett sandten 1924 ein Funksignal aus, dessen Frequenz sie langsam änderten. Ein Empfänger in 200 km Abstand empfing ein Signal, dessen Amplitude bei der Frequenzänderung periodisch zwischen Minima und Maxima schwankte. Der Frequenzabstand zwischen zwei Maxima betrug $\Delta f = 3,0\,\text{kHz}$. Das Ergebnis wurde als Interferenz einer direkten Welle mit einer zweiten gedeutet, welche in einer bestimmten Höhe reflektiert wurde. In welcher Höhe h befindet sich die reflektierende Schicht?
Hilfe: Berechne erst nach Teilaufgabe a den erforderlichen Gangunterschied Δs der Wellen. Ein Phasensprung bei der Reflexion kann außer Acht gelassen werden.

60 BE

Viel Erfolg!

Kink

1. **Schwingkreis-Gitarre**

   geg.: $r = 0,015\,\mathrm{m}, \quad \ell = 0,650\,\mathrm{m}, \quad N = 2500, \quad C = 61 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F}$

5 BE a) Spulenquerschnitt:

$$A = r^2\pi = (0,015\,\mathrm{m})^2 \cdot \pi = 7,07 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}^2$$

Induktivität der Spule:

$$L_0 = \mu_0 A \cdot \frac{N^2}{\ell} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\mathrm{V\,s}}{\mathrm{A\,m}} \cdot 7,07 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}^2 \cdot \frac{2500^2}{0,65\,\mathrm{m}} = 8,5 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{H}$$

Thomson-Formel:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{8,5 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{H} \cdot 61 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F}}} = 221\,\mathrm{Hz} \approx 0,22\,\mathrm{kHz}$$

4 BE b) geg.: $U_C = 2,0\,\mathrm{V}$

Energieerhaltung:

$$\frac{1}{2} C U_C^2 = \frac{1}{2} L I_0^2$$
$$I_0 = \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot U_C = \sqrt{\frac{61 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F}}{8,5 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{H}}} \cdot 2,0\,\mathrm{V} = 0,17\,\mathrm{A}$$

Effektivwert:

$$I_{\mathrm{eff}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = \frac{0,20\,\mathrm{A}}{\sqrt{2}} = 0,12\,\mathrm{A}$$

6 BE c) geg.: $f_x = 440\,\mathrm{Hz}$

Abgegriffene Anzahl von Windungen:

$$N_x = \frac{x}{\ell} \cdot N$$

Induktivität:

$$L_x = \mu_0 A \cdot \frac{N_x^2}{x} = \mu_0 A \cdot \frac{x^2 N^2}{\ell^2 x} = \mu_0 A \cdot \frac{x N^2}{\ell^2} \qquad \left(= \frac{x}{\ell} \cdot L_0 \right)$$
$$x = \frac{\ell^2 L_x}{\mu_0 A N^2} \qquad \left(= \frac{L_x}{L_0} \cdot \ell \right)$$

Mit der Thomson-Formel:

$$f_x = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_x C}}$$
$$L_x = \frac{1}{4\pi^2 C f_x^2}$$

wird daraus:

$$x = \frac{\ell^2}{\mu_0 A N^2 \cdot 4\pi^2 C f_x^2} = \frac{\ell^2}{4\mu_0 A \pi^2 N^2 C f_x^2} \qquad \left(= \frac{f_0^2}{f_x^2} \cdot \ell = \frac{1}{2^2} \cdot 65\,\mathrm{cm} \right)$$
$$= \frac{(0,65\,\mathrm{m})^2}{4 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}\frac{\mathrm{V\,s}}{\mathrm{A\,m}} \cdot 7,07 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}^2 \cdot \pi^2 \cdot 2500^2 \cdot 61 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F} \cdot (440\,\mathrm{Hz})^2} = 16\,\mathrm{cm}$$

2 BE d) Tonintervall:

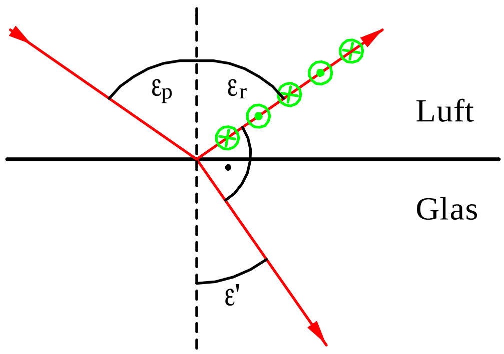
$$\frac{0,22\,\mathrm{kHz}}{0,44\,\mathrm{kHz}} = \frac{1}{2}$$

Das Intervall ist demnach eine Oktave.

2 BE e) Das Spielgefühl entspricht **nicht** dem auf einer Gitarren-Saite. Denn bei einer Gitarre halbiert man die Saite, um eine Oktave zu spielen, hier wird die Spulenlänge aber auf ein Viertel reduziert.

2. Polarisation von Licht

8 BE Berechnung des Polarisationswinkels:



Forderung:

$$90^\circ - \varepsilon_\mathrm{p} + 90^\circ - \varepsilon' = 90^\circ$$
$$\varepsilon' = 90^\circ - \varepsilon_\mathrm{p}$$
$$\sin\varepsilon' = \cos\varepsilon_\mathrm{p}$$

Aus dem Brechungsgesetz

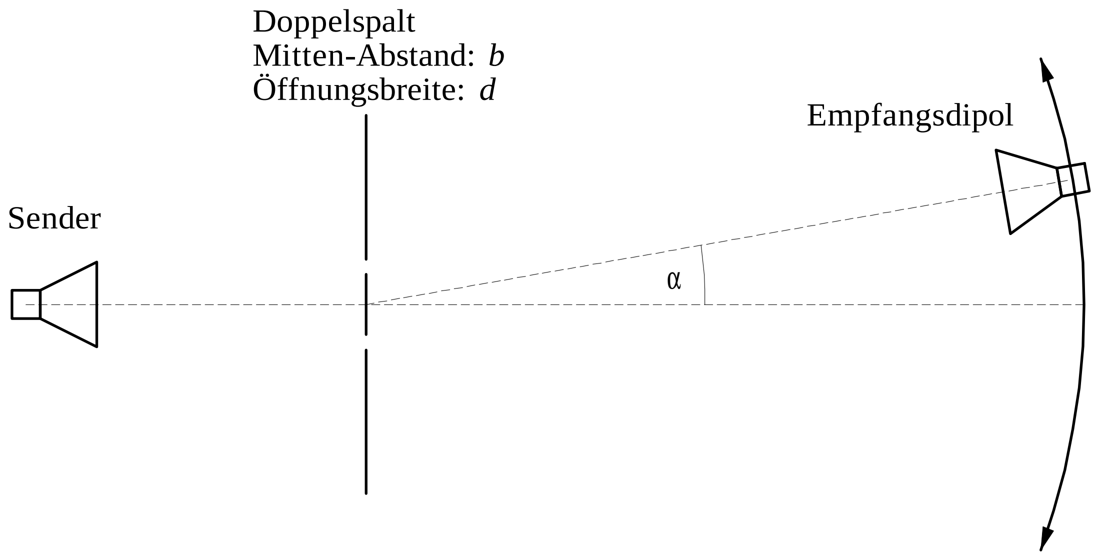
$$\frac{\sin\varepsilon_\mathrm{p}}{\sin\varepsilon'} = n$$

wird dann:

$$\frac{\sin\varepsilon_\mathrm{p}}{\cos\varepsilon_\mathrm{p}} = n$$
$$\Rightarrow \tan\varepsilon_\mathrm{p} = n$$

3. **Mikrowellen**

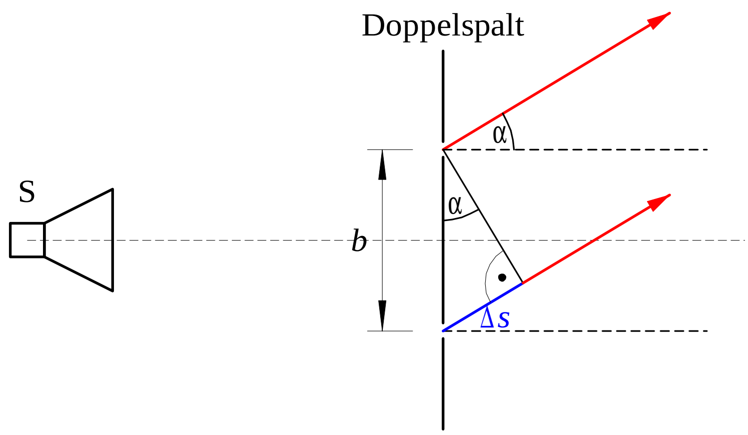
5 BE a)



Ein Mikrowellen-Sender strahlt gleichmäßig einen Doppelspalt aus. In hinreichend großer Entfernung wird hinter dem Doppelspalt ein Empfangsdipol angebracht, welcher entlang des eingezeichneten Bogens bewegt werden kann. Für $\alpha = 0$ registriert man einen maximalen Empfang. Vergrößert man α, so registriert man abwechselnd minimalen und maximalen Empfang.

Den Mikrowellen wird ein Signal im Hörbereich aufmoduliert (Amplitudenmodulation). Das empfangene Signal wird demoduliert und durch Verstärker und Lautsprecher hörbar gemacht.

6 BE b) geg.: $b = 12\,\mathrm{cm}$, $\alpha_2 = 32°$



Bedingung für Maximum zweiter Ordnung:

$$b \sin \alpha_2 = 2\lambda$$

$$\lambda = \frac{b \sin \alpha_2}{2} = \frac{0,12\,\mathrm{m} \cdot \sin 32°}{2} = 3,2 \cdot 10^{-2}\,\mathrm{m} = 3,2\,\mathrm{cm}$$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3,0 \cdot 10^8 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{3,2 \cdot 10^{-2}\,\mathrm{m}} = 9,4 \cdot 10^9\,\mathrm{Hz}$$

4 BE c) Bedingung für Maxima:

$$b \sin\alpha = k\lambda$$

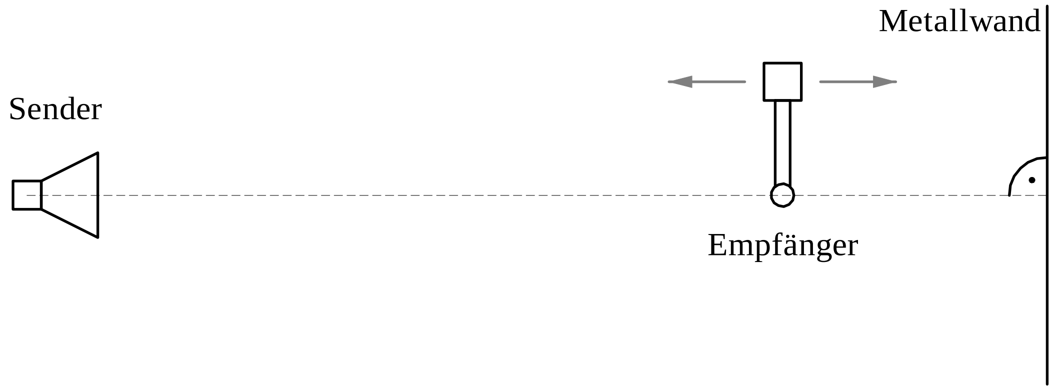
Wegen $\sin\alpha \le 1$ gilt:

$$k\lambda \le b$$

$$k \le \frac{b}{\lambda} = \frac{0,12\,\mathrm{m}}{3,2 \cdot 10^{-2}\,\mathrm{m}} = 3,75$$

Es können höchstens Maxima bis zur Ordnung 3 beobachtet werden.

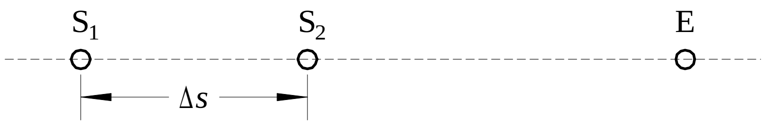
4 BE d) Ausbildung von stehenden Wellen:



Der Empfänger bewegt sich von der Wand weg. Es wird die Breite einer größeren Anzahl von Schwingungsbäuchen gemessen. Daraus wird die der Abstand zweier Knoten bestimmt. Dieser ist gleich der halben Wellenlänge.

4. **Versuch von Appleton und Barnett**

6 BE a)



Maximum bei f_1 :

$$\Delta s = k \cdot \lambda_1 = k \cdot \frac{c}{f_1}$$

$$f_1 = \frac{kc}{\Delta s}$$

Maximum bei f_2 :

$$\Delta s = (k+1) \cdot \frac{c}{f_2}$$

$$f_2 = \frac{(k+1)\,c}{\Delta s} = \frac{kc}{\Delta s} + \frac{c}{\Delta s} = f_1 + \frac{c}{\Delta s}$$

$$f_2 - f_1 = \frac{c}{\Delta s}$$

$$\Delta f = \frac{c}{\Delta s}$$

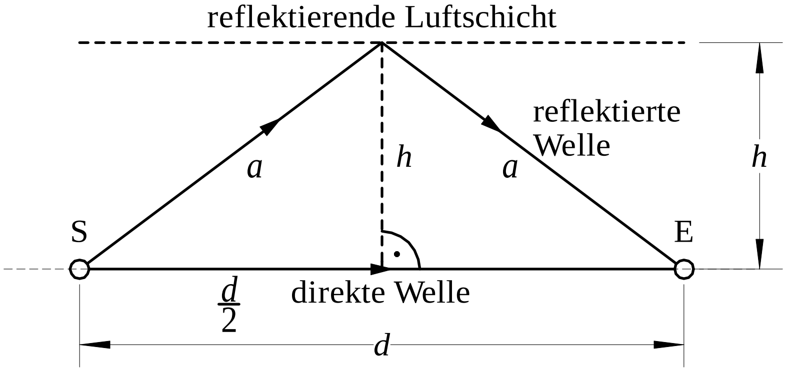
$$\Delta s = \frac{c}{\Delta f}$$

8 BE b) geg.: $d = 2{,}00 \cdot 10^5\,\mathrm{m}, \quad \Delta f = 3000\,\mathrm{Hz}$

Erforderlicher Gangunterschied aus Teilaufgabe a

$$\Delta s = \frac{c}{\Delta f} = \frac{3{,}0 \cdot 10^8\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{3000\,\mathrm{Hz}} = 1{,}0 \cdot 10^5\,\mathrm{m}$$

Geometrische Berechnung des Gangunterschieds:



Hypotenusensatz des Pythagoras:

$$a^2 = \left(\frac{d}{2}\right)^2 + h^2$$

$$a = \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + h^2}$$

Gangunterschied:

$$\Delta s = 2a - d = 2\sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + h^2} - d$$

$$\sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + h^2} = \frac{\Delta s}{2} + \frac{d}{2}$$

$$h^2 = \left(\frac{\Delta s}{2} + \frac{d}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \frac{\Delta s^2}{4} + \frac{1}{2} \cdot \Delta s \cdot d + \frac{d^2}{4} - \frac{d^2}{4} =$$

$$h = \sqrt{\frac{\Delta s^2}{4} + \frac{1}{2} \cdot \Delta s \cdot d}$$

$$= \sqrt{\frac{(1{,}0 \cdot 10^5\,\mathrm{m})^2}{4} + \frac{1}{2} \cdot 1{,}0 \cdot 10^5\,\mathrm{m} \cdot 2{,}00 \cdot 10^5\,\mathrm{m}}$$

$$= 1{,}1 \cdot 10^5\,\mathrm{m} \approx 110\,\mathrm{km}$$

60 BE