a)
- Der Seilanfang beschreibt eine harmonische Schwingung mit der Amplitude $\hat{s} = 2,0\,\mathrm{cm}$. Die Kreisfrequenz lässt sich aus der Periodendauer bestimmen, es gilt:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0,5\,\mathrm{s}} = 4\pi\,\mathrm{s}^{-1}\,.$$

Da sich der Seilanfang zum Zeitpunkt $t = 0\,\mathrm{s}$ durch die Ruhelage nach oben bewegt, lautet das Weg-Zeit-Gesetz:

$$s(t) = \hat{s}\cdot\sin(\omega\cdot t) = 2,0\,\mathrm{cm}\cdot\sin(4\pi\,\mathrm{s}^{-1}\cdot t)\,.$$

Die Position des Seilanfangs erhält man durch einsetzen des Zeitpunkts t_1 in das Weg-Zeit-Gesetz ermitteln:

$$s(2,4\,\mathrm{s}) = 2,0\,\mathrm{cm}\cdot\sin(4\pi\cdot 2,4) \approx -1,9\,\mathrm{cm}\,.$$

Somit befindet sich der Seilanfang $1,9\,\mathrm{cm}$ unterhalb der Ruhelage.

- Das Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz erhält man mittels Ableiten des Weg-Zeit-Gesetzes:

$$\begin{aligned} v(t) = \dot{s}(t) &= \hat{s}\cdot\omega\cdot\cos(\omega\cdot t) = 2,0\,\mathrm{cm}\cdot 4\pi\,\mathrm{s}^{-1}\cdot\cos(4\pi\,\mathrm{s}^{-1}\cdot t) \\ &= 8\pi\,\mathrm{cm\,s}^{-1}\cos(4\pi\,\mathrm{s}^{-1}\cdot t)\,. \end{aligned}$$

Einsetzen ergibt die Gesuchte Geschwindigkeit und Richtung:

$$v(2,4\,\mathrm{s}) = 8\pi\,\mathrm{cm\,s}^{-1}\cos(4\pi\cdot 2,4) \approx 7,8\,\mathrm{cm\,s}^{-1}\,.$$

D.h. der Seilanfang bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von $7,8\,\mathrm{cm\,s}^{-1}$ nach oben.

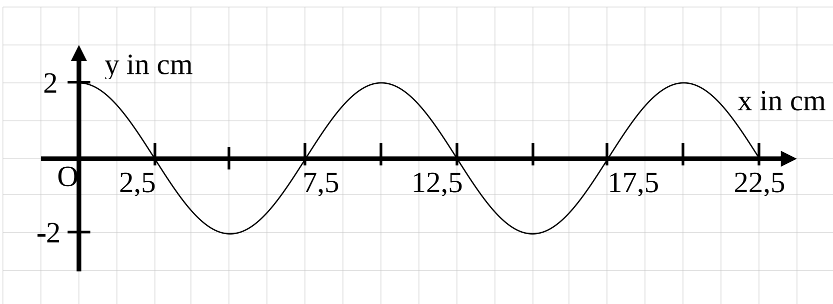
- Zunächst bestimmt man die Strecke, die die Wellenfront in $1,125\,\mathrm{s}$ zurückgelegt hat. Mit einer Ausbreitungsgeschwindigkeit von $c = 20\,\mathrm{cm\,s}^{-1}$ folgt:

$$x = c\cdot t_2 = 20\,\mathrm{cm\,s}^{-1}\cdot 1,125\,\mathrm{s} = 22,5\,\mathrm{cm}$$

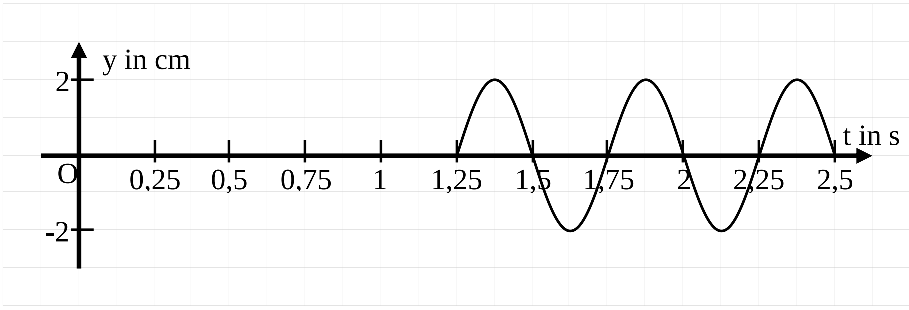
Nun Zeichnet man die Welle rückwärts, diese besitzt eine Wellenlänge von

$$\lambda = c\cdot T = 20\,\mathrm{cm\,s}^{-1}\cdot 0,5\,\mathrm{s} = 10\,\mathrm{cm}$$

Die Nullstellen sind jeweils vielfache von $\frac{\lambda}{2}$ von der Stelle $x = 22,5\,\mathrm{cm}$. D.h. die Nullstellen liegen bei $22,5\,\mathrm{cm}$; $17,5\,\mathrm{cm}$; $12,5\,\mathrm{cm}$; $7,5\,\mathrm{cm}$ und $2,5\,\mathrm{cm}$. Da die Bewegung mit einem Bauch begonnen hat liegen die Maxima bei $\frac{\lambda}{4} + k\cdot\lambda$ links von $x = 22,5\,\mathrm{cm}$, sie liegen also bei $20\,\mathrm{cm}$; $10\,\mathrm{cm}$ und $0\,\mathrm{cm}$. Entsprechend liegen die Minima bei $\frac{3}{4}\lambda + k\cdot\lambda$ links von $x = 22,5\,\mathrm{cm}$.



- Der Seilpunkt ist zunächst in Ruhe, bis die Wellenfront ihn erreicht, danach schwingt dieser mit der selben Periodendauer $T = 0,5\,\mathrm{s}$ und der selben Amplitude $\hat{s} = 2,0\,\mathrm{cm}$ wie der Seilanfang. Hierfür ergibt sich das folgende Diagramm:



b)
- Wir betrachten den Aufbau im Idealisierten Fall, es wird hierbei von der Dämpfung abgesehen. Auf dem Seil breiten sich transversalwellen aus, welche an den Enden reflektiert werden. Die Wellen laufen also auf dem Seil hin und her, dies ergibt durch die Überlagerung unregelmäßige Schwingungen. Bei bestimmten Anregungsfrequenzen kann sich aber auch eine stehende Welle ausbilden
- Stehende Wellen bilden sich aus, wenn die Welle nach zweimaligem reflektieren wieder phasengleich zur ursprünglichen Welle ist. Da das Seil an beiden Enden eingespannt ist, findet man dort Schwingungsknoten. In der Grundschwingung findet man genau zwei Schwingungsknoten und dazwischen einen Schwingungsbauch. Bei höheren Eigenschwingungen kommt jeweils ein Knoten hinzu, diese sind auf dem Seil gleichmäßig verteilt und zwischen zwei Knoten findet man jeweils ein Schwingungsbauch. Aus der Anzahl der Knoten und der Seillänge $l = 80\,\mathrm{cm}$ kann man die Wellenlänge zur jeweiligen Schwingung bestimmen:

Anzahl der Bäuche n	1	2	3	4	5
λ in cm	160	80	53,3	40	32

- Die dargestellte stehende Welle besitzt vier Bewegungsbäuche, somit entsprechen zwei Wellenlängen der Seillänge l. Laut Aufgabenstellung besitzt die stehende Welle bei Erhöhung der Anregungsfrequenz um $20\,\mathrm{Hz}$ sechs Bewegungsbäuche, also entsprechen drei Wellenlängen der Seilläge l. Zusammen mit $c = \lambda \cdot f$ folgt somit:

$$2 \cdot \lambda_4 = 3 \cdot \lambda_6$$
$$2 \cdot \frac{c}{f_4} = 3 \cdot \frac{c}{f_6}\,.$$

Da laut Aufgabentext gilt $f_6 = f_4 + 20\,\mathrm{Hz}$ erhält man:

$$\frac{2}{f_4} = \frac{3}{f_4 + 20\,\mathrm{Hz}}$$
$$f_4 = \frac{2}{3} \cdot (f_4 + 20\,\mathrm{Hz})$$
$$f_4 = \frac{\frac{2}{3} \cdot 20\,\mathrm{Hz}}{1 - \frac{2}{3}} = 3 \cdot \frac{2}{3} \cdot 20\,\mathrm{Hz} = 40\,\mathrm{Hz}\,.$$

Somit erhalten wir für die Ausbreitungsgeschwindigkeit:

$$l = 2 \cdot \lambda_4 = 2 \cdot \frac{c}{f_4}$$
$$c = \frac{l}{2} \cdot f_4 = \frac{0,8}{2} \cdot 40\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 16\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

- Für eine stehende Welle, muss die Seillänge ein ganzzahliges Vielfaches der halben Wellenlänge entsprechen. Hieraus lässt sich eine Beziehung für die Anregungsfrequenz, bei welcher stehende Wellen auftreten bestimmen:

$$\begin{aligned} l &= n \cdot \frac{\lambda}{2} \qquad n \in \mathbb{N} \\ \lambda &= \frac{2 \cdot l}{n} \,. \end{aligned}$$

  Zusammen mit $c = \lambda \cdot f$ ergibt dies:

$$f = \frac{c}{\lambda} = n \cdot \frac{c}{2 \cdot l} \,.$$

  Für $n = 1$ erhält man die kleinste Eigenfrequenz:

$$f = \frac{c}{2 \cdot l} = \frac{16}{2 \cdot 0{,}8}\,\mathrm{Hz} = 10\,\mathrm{Hz}$$

c)

- Die Wellen, welche von den beiden Stiften ausgehen, treffen im Punkt B phasengleich aufeinander, weshalb die resultierende Amplitude die Summe der einzelnen Amplituden ist, so dass die Amplitude im Punkt B $2\,\mathrm{mm}$ beträgt.
- Wenn der Gangunterschied $\delta = \overline{S_1B} - \overline{S_2B}$ gerade $\frac{\lambda}{2}$ beträgt, tritt das erste Minimum auf. Der Gangunterschied lässt sich mittels dem Satz des Pythagoras bestimmen:

$$\begin{aligned} \delta &= \sqrt{8^2 + 9^2}\,\mathrm{cm} - \sqrt{8^2 + 6^2}\,\mathrm{cm} \\ &= 12{,}04\,\mathrm{cm} - 10\,\mathrm{cm} \\ &= 2{,}04\,\mathrm{cm} \,. \end{aligned}$$

  Somit folgt für die Frequenz:

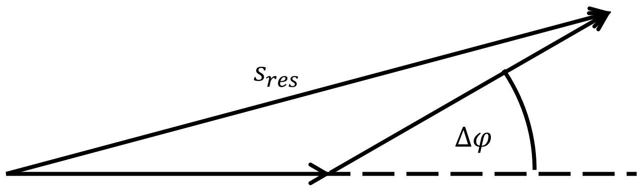
$$\begin{aligned} \frac{\lambda}{2} &= 2{,}04\,\mathrm{cm} \\ \frac{c}{f} &= 4{,}08\,\mathrm{cm} \\ f &= \frac{c}{4{,}08\,\mathrm{cm}} \\ &= \frac{0{,}1\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{0{,}0408\,\mathrm{m}} \approx 2{,}5\,\mathrm{Hz} \,. \end{aligned}$$

Stift S_2 ist nun aus seiner ursprünglichen Lage um weniger als $3{,}0\,\mathrm{cm}$ nach rechts versetzt. Die Stifte schwingen gleichphasig mit der Frequenz f.

- Die Amplitude lässt sich mittels einem Zeigerdiagramm bestimmen, hierzu betrachtet man zwei Zeiger, welche jeweils zu den ankommenden Wellen gehören. Die Addition dieser beiden Zeiger ergibt die Superposition der beiden Wellen und die Länge des resultierenden Zeigers entspricht der Amplitude der Welle, um die Länge des resultierenden Zeigers zu bestimmen, müssen die folgenden Schritte durchgeführt werden:
  - Bestimme zunächst den Gangunterschied δ der beiden Wellen zueinander.
  - Rechne diesen Gangunterschied in die Phasendifferenz $\Delta\varphi$ der beiden Zeiger zueinander um, hierbei gilt:

$$\frac{\Delta\varphi}{2\pi} = \frac{\delta}{\lambda} \,.$$

– Nun lassen sich anhand der folgenden Skizze mittels trigonometrische Beziehungen die Länge des resultierenden Zeigers bestimmen:



- Beim Doppelspaltexperiment mit einzelnen Elektronen erhält man bei hinreichend langer Beobachtungsdauer das vom Doppelspalt bekannte typische Interferenzmuster. Dies lässt sich nur dadurch erklären, dass das Elektron mit sich selbst interferiert. Führt man in die Anordnung eine Apperatur ein, welche beobachten kann, welchen Spalt das Elektron passiert hat (Ortsmessung), so verschwindet auf dem Schirm das Interferenzmuster.