a)

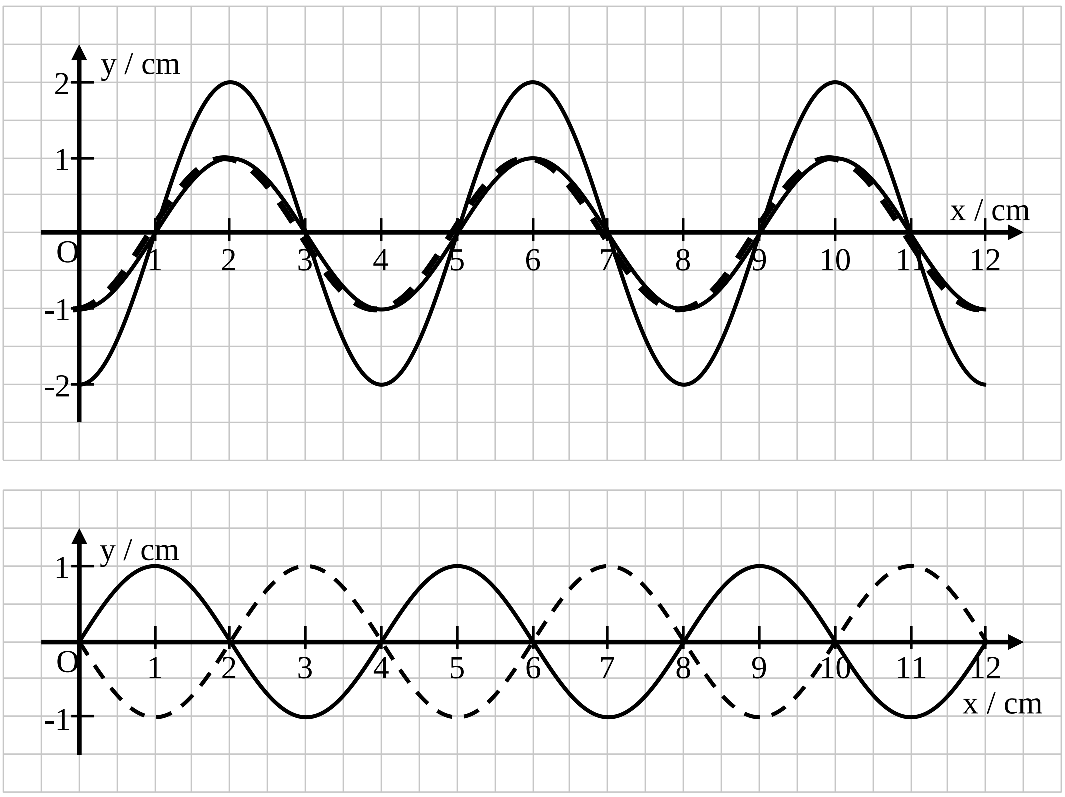
- Zunächst bestimmt man die Wellenlänge, für diese gilt nach $c = \lambda \cdot f$:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{10}{2,5} \text{ cm} = 4 \text{ cm}$$

Nun muss bestimmt werden, wie weit sich die Welle nach $t_1 = 1,9$ s bzw. nach $t_2 = 2,0$ s ausgebreitet hat, aus $s = c \cdot t$ folgt:

$$s_1 = 10 \cdot 1,9 \text{ cm} = 19 \text{ cm}$$
$$s_2 = 10 \cdot 2,0 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$$

D.h. die Wellenfront hat sich nach 1,9 s um 19 cm von E_1 nach rechts, bzw. von E_2 nach links fortbewegt. Da man nur den Bereich zwischen E_1 und E_2 (12 cm) zeichnen soll, fallen die letzten 7 cm weg, dies entspricht $1\frac{3}{4}$ Wellenlängen. Da sich nun die beiden Erreger zum Zeitpunkt $t = 0$ s mit maximaler Geschwindigkeit nach oben bewegen, befindet sich also der Wellenträger bei E_2 zum Zeitpunkt t_1 im untere Umkehrpunkt. Nun zeichnet man die Welle entsprechen rückwärts fertig. Entsprechend ergibt sich das selbe für die sich von E_2 ausbreitende Welle.
Entsprechd nach 2,0 s fallen die letzten 8 cm weg, dies entspricht 2 Wellenlängen, somit befindet sich der Wellenträge bei E_2 zum Zeitpunkt t_2 in der Gleichgewichtslage und bewegt sich mit maximaler Geschwindigkeit nach oben. Wie zuvor zeichnet man nun die Welle rückwärts fertig, wobei die selbe Argumentation mit der sich von E_2 ausbreitenden Welle Funktioniert.
Die resultierende Welle ergibt sich jeweils aus der Addition der einzelnen teilwellen.



- Die beiden entgegenlaufenden Wellen gleicher Wellenlänge und Amplitude überlagern sich zu einer stehenden Welle, wobei man in der Aufgabe zuvor zwei Momentaufnahmen zu minimaler und maximaler Auslenkung gezeichnet hat. In der Mitte treffen die beiden Wellen phasengleich aufeinander, weshalb dort ein Bewegungsbauch vorliegt. Hier addieren sich die Amplituden der einzelnen Wellen, somit beträgt die maximale Amplitude zwischen den beiden Erregern 2,0 cm.

- Für die maximale Geschwindigkeit und Beschleunigung gilt jeweils:

$$\hat{v} = \hat{s} \cdot \omega$$
$$\hat{a} = \hat{v} \cdot \omega = \hat{s} \cdot \omega^2$$

Mit $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot 2,5 \text{ Hz} \approx 15,7 \text{ Hz}$. Somit beträgt die maximale Geschwindigkeit:

$$\hat{v} = \hat{s} \cdot \omega = 2,0 \cdot 15,7 \ \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 31,4 \ \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

Für die maximale Beschleunigung folgt daraus:

$$\hat{a} = \hat{v} \cdot \omega = 31,4 \cdot 15,7 \ \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} = 493 \ \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$$

b)
- Eine stehende Welle besitzt zwei Arten von charakteristischen Punkten, Bewegungsknoten und Bewegungsbäuche. Bewegungsknoten befinden sich ständig in ruhe, zueinander besitzen die Bewegungsknoten einen Abstand von $\frac{\lambda}{2}$. Alle Punkte zwischen zwei Knoten bewegen sich mit unterschiedlicher Amplitude in die gleiche Richtung, d.h. diese Punkte befinden sich in Phase. Genau zwischen den Bewegungsknoten befinden sich die Bewegungsbäuche, diese sind Punkte, welche mit maximaler Amplitude schwingen. Bewegungsbäuche haben ebenfalls einen Abstand von $\frac{\lambda}{2}$ zueinander. Eine stehende Welle transportiert keine Energie, die Energie ist zwischen den Knoten gespeichert.
  Eine stehende Welle entsteht, wenn sich zwei gegenläufige Wellen mit gleicher Amplitude, Wellenlänge und Polarisation überlagern.
- Ein Experiment zum Erzeugen stehder Wellen wäre z.B. die Verwendung zweier Erreger, welche Wellen aussenden (z.B. Lautsprecher, Mikrowellensender, oder zwei Stifte, welche in Wasser eintauchen). Diese Erreger werden so platziert, dass die beiden Wellen entgegenlaufen, auf der Verbindungslinie bilden sich dann für beliebige Frequenzen stehende Wellen.
- Um die Wellenlänge zu bestimmen, muss der Abstand zweier Bewegungsknoten (oder Bewegungsbäuche) zueinander bestimmt werden. Die besitzen bekanntermaßen einen Abstand von $\frac{\lambda}{2}$, weshalb das doppelte, des gemessenen Abstands gerade der Wellenlänge entspricht. Je nach Versuchsaufbau muss hierbei ein Mikrophon, ein Hertzscher Dipol, oder einfach ein Maßstab verwendet werden.

c)
- Bewegen sich Teilchen mit einer bestimmten Geschwindigkeit v, so kann man diese eine De-Broglie-Wellenlänge zuordnen, diese stellt ein Maß für die Auftreffwahrscheinlichkeit dar. Für diese Wellenlänge gilt:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{23 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \cdot 5,8 \cdot 10^{-4}} \text{ m} = 2,99 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 30 \ \mu\text{m}$$

Der Abstand zweier Knoten zueinander, welcher der halben Wellenlänge entspricht, beträgt nach dem Aufgabentext 15 μm, somit kann man bei diesem Experiment genau diese Wellenlänge beobachten.

- In den Knoten ist die Auftreffwahrscheinlichtkeit für die Natriumatome null, an den Bäuchen ist diese maximal.

- Erhöt man die Geschwindigkeit (und somit den Impuls), so wird gemäß $\lambda = \frac{h}{p}$ die Wellenlänge kleiner. So besitzen die Natriumatome eine Wellenlänge von:

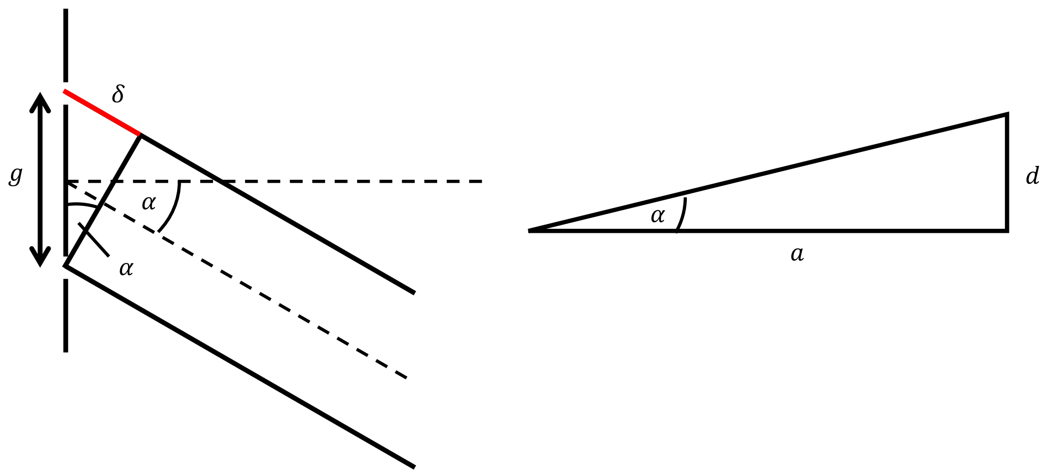
$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{23 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \cdot 580}\ \text{m} = 2,99 \cdot 10^{-11} = 30\ \text{pm}$$

Bei dieser Wellenlänge ist kein Schattenwurf mehr möglich, da die zu Beugende Struktur (Knoten und Bäuche der „stehenden Materiewelle") kleiner ist als die Wellenlänge des Lichts (400 nm bis 800 nm).

d)
- Den Fullerenmolekülen kann die De-Broglie-Wellenlänge zugeordnet werden:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{1,2 \cdot 10^{-24} \cdot 140}\ \text{m} = 3,95 \cdot 10^{-12}\ \text{m} = 3,95\ \text{pm}$$

Für die Maxima erster Ordnung muss der Gangunterschied benachbarter Strahlen gerade einer Wellenlänge entsprechen. Den Gangunterschied kann man der folgenden Skizze entnehmen:



so erhält man für den Gangunterschied:

$$\sin(\alpha) = \frac{\delta}{g}$$

wobei g den Spaltmittenabstand darstellt. Bezeichnet man den Abstand Spalt – Schrim mit a, so tritt das Maxima 1-ter Ordnung unter einem Abstand d von der Mitte auf. Für diesen Abstand d gilt:

$$\tan(\alpha) = \frac{d}{a}$$

Da bei diesem Versuch die Maxima unter sehr kleinen Winkeln auftreten, ist die Näherung $\tan(\alpha) \approx \sin(\alpha)$ angebracht, somit gilt für die Lage des Maximums erster Ordnung:

$$\begin{aligned} \frac{\delta}{g} &= \frac{d}{a} \\ d &= \frac{a \cdot \delta}{g} = \frac{a \cdot \lambda}{g} = \frac{1,3 \cdot 3,95 \cdot 10^{-12}}{100 \cdot 10^{-9}}\ \text{m} \\ &\approx 5,1 \cdot 10^{-5}\ \text{m} = 51\ \mu\text{m} \end{aligned}$$

- Aus Abb. 2 entnimmt man, dass die Maxima erster Ordnung in einem Abstand von ca. 50 μm auftreten (im Rahmen des Ablesegenauigkeit), weshalb dieser Wert mit dem theoretisch bestimmten Wert gut übereinstimmt.

- Bei dem beschriebenen Experiment befindet sich jeweils nur ein Fullerenmolekül in der Anordnung, so dass keine „Materiewelle“ miteinader interferieren können, dennoch sind Interferenzen beobachtbar. Dies ist also ein Zeichen dafür, dass die Wahrscheinlichkeitswellen, also die Wellen, die die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten des Fullerenmoleküls beschreiben miteinander interferieren. Es interferiert also sozusagen jedes Fullerenmolekül mit sich selbst.