

Zentralabitur 2024	Physik	Material für Prüflinge
Aufgabe I	eA	Prüfungszeit*: 300 min

*einschließlich Auswahlzeit.

Thema: Verschiedene Geschwindigkeiten

Im Mittelpunkt der ersten Aufgabe steht die Bestimmung der Schallgeschwindigkeit. In der zweiten Aufgabe werden Quantenobjekte mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten betrachtet und die dritte Aufgabe thematisiert Prozesse in der Vakuum-Fotozelle und die Geschwindigkeit von Fotoelektronen.

Aufgabenstellung

Aufgabe 1

In dieser Aufgabe wird die Ausbreitung von harmonischen Wellen und deren kennzeichnenden Größen thematisiert. Eine Betrachtung von Phasenbeziehungen ermöglicht die Messung der Schallgeschwindigkeit.

- 1.1** Beschreiben Sie den Unterschied zwischen longitudinalen und transversalen Wellen.
Begründen Sie den Zusammenhang $c = \lambda \cdot f$ zwischen der Wellenlänge λ und der Frequenz f einer Welle (c : Ausbreitungsgeschwindigkeit). [5 BE]
- 1.2** Die Ausbreitung einer harmonischen Welle ist in Material 1a (M1a) schematisch dargestellt.
Ermitteln Sie aus der Abbildung die Frequenz und die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle sowie die Differenz der Phasen zwischen den Oszillatoren an den Stellen 2 cm und 4 cm.
Zeichnen Sie ein Diagramm, das die Schwingung des 1. Oszillators bei $x = 0$ cm in Abhängigkeit von der Zeit für die ersten 4 Sekunden darstellt. [7 BE]
- 1.3** In einem Experiment wird das Signal eines Ultraschallsenders von zwei Empfängern registriert, welche an einem Oszilloskop angeschlossen sind. Der Aufbau ist in M1b dargestellt. M1c zeigt das Oszilloskopbild für zwei feste Positionen der Empfänger.
Ermitteln Sie alle möglichen Phasen, um die das Signal am Empfänger E1 dem Signal am Empfänger E2 in M1c vorseilt.
Zeichnen Sie in M1d das Oszilloskopbild für den Fall ein, dass durch Verschieben des Empfängers E2 die Differenz der Phasen zwischen den Empfängern 180° beträgt. [5 BE]
- 1.4** Um die Schallgeschwindigkeit zu ermitteln, wird der Empfänger E2 von Empfänger E1 soweit weggezogen, bis sich der untere Graph im Oszilloskopbild (M1c) zum zehnten Mal wiederholt hat. Die Strecke, um die E2 dabei verschoben wurde, beträgt $\Delta x = 87 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$.
Ermitteln Sie mit diesen Angaben und mit M1b die Schallgeschwindigkeit.
In M1e ist die Abhängigkeit der Schallgeschwindigkeit von der Temperatur dargestellt.
Beurteilen Sie mithilfe einer Betrachtung der Messunsicherheit, ob dieses Experiment eine sinnvolle Aussage über die Temperatur im Experimentierraum zulässt.
Hinweise:
 - Die Frequenz des Ultraschalls (hier $f = 40,0 \text{ kHz}$) ist bei Temperaturänderung konstant.
 - Die Unsicherheit der Frequenz ist so klein, dass sie hier vernachlässigt werden kann.[7 BE]

Zentralabitur 2024	Physik	Material für Prüflinge
Aufgabe I	eA	Prüfungszeit*: 300 min

Aufgabe 2

In unterschiedlichen Interferenzversuchen wurden die Quanteneigenschaften von Elektronen, Neutronen und ganzen Molekülen experimentell bestätigt. Der Aufbau für ein solches Experiment mit Molekülen aus 60 Kohlenstoffatomen (C_{60} -Moleküle) ist in M2a abgebildet.

2.1 In M2b sind die Ergebnisse des Experiments mit C_{60} -Molekülen dargestellt.

Vergleichen Sie die Messergebnisse ohne und mit Verwendung eines Gitters.

Hinweis: Die unterschiedlichen Messzeiten sollen nicht berücksichtigt werden.

Erläutern Sie, inwiefern die Versuchsergebnisse Quanteneigenschaften von C_{60} -Molekülen nachweisen.

[5 BE]

2.2 Für die Lage der Maxima bei Interferenz am Gitter gilt die Bedingung:

$$n \cdot \lambda = g \cdot \sin \left(\arctan \left(\frac{a_n}{e} \right) \right) \quad \left| \begin{array}{l} n: \text{Ordnung des Maximums; } \lambda: \text{Wellenlänge;} \\ g: \text{Gitterkonstante; } a_n: \text{Abstand zwischen dem Maximum} \\ \text{0. Ordnung und dem Maximum } n\text{-ter Ordnung; } e: \text{Abstand} \\ \text{zwischen Gitter und Detektorebene} \end{array} \right.$$

Ermitteln Sie unter Verwendung dieser Gleichung sowie von M2a und M2b die Wellenlänge dieser C_{60} -Moleküle.

[4 BE]

2.3 In einem vergleichbaren Experiment mit ähnlichen Molekülen hat man den Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit und der Wellenlänge genauer untersucht. Die Messwerte hierzu sind in M2c angegeben.

Ermitteln Sie den funktionalen Zusammenhang $\lambda = f(v)$ und dokumentieren Sie Ihr Vorgehen in der vereinbarten Form.

Überprüfen Sie, ob die Messreihe in M2c die de-Broglie-Gleichung erfüllt.

[8 BE]

2.4 Der Aufbau aus M2a wird um einen Geschwindigkeitsfilter ergänzt, der nur C_{60} -Moleküle einer ausgewählten Geschwindigkeit passieren lässt. Die Auswirkungen des Filters auf die Geschwindigkeitsverteilung der C_{60} -Moleküle ist in M2d dargestellt. M2e zeigt die Messergebnisse des veränderten Experimentes.

Analysieren Sie die Auswirkungen des Geschwindigkeitsfilters auf die Versuchsergebnisse.

[4 BE]

2.5 Beschreiben Sie anhand eines selbst gewählten Experiments den Begriff „Komplementarität“ in der Quantenphysik.

[3 BE]

Zentralabitur 2024	Physik	Material für Prüflinge
Aufgabe I	eA	Prüfungszeit*: 300 min

Aufgabe 3

Mittels einer Vakuum-Fotozelle wird der Prozess der Energieübertragung beim äußeren lichtelektrischen Effekt untersucht. In der experimentellen Umsetzung ist die Messung einer Spannung von zentraler Bedeutung, die hier mit U_0 bezeichnet wird.

- 3.1** Mit der Vakuum-Fotozelle bestimmt man die maximale kinetische Energie und die maximale Geschwindigkeit der ausgelösten Elektronen.

Erläutern Sie ein Verfahren zur Bestimmung der Geschwindigkeit dieser Elektronen anhand einer zu erstellenden Skizze des Aufbaus. **[6 BE]**

- 3.2** Mit dem in 3.1 beschriebenen Aufbau wird die Spannung U_0 bei Beleuchtung der Fotozelle für fünf verschiedene monochromatische Lichtquellen bestimmt, siehe M3a.

Berechnen Sie die fehlenden Werte in der Tabelle M3a ohne Zuhilfenahme des Literaturwertes für die plancksche Konstante h .

Ermitteln Sie einen Wert für die plancksche Konstante anhand eines zu zeichnenden Diagramms.

Vergleichen Sie Ihren ermittelten Wert für die plancksche Konstante mit dem Literaturwert.

Deuten Sie das Diagramm mit Bezug auf die folgende Gleichung: $h \cdot f = E_{\text{kin}} + E_A$ (E_{kin} : maximale kinetische Energie der ausgelösten Elektronen; E_A : Austrittsenergie). **[12 BE]**

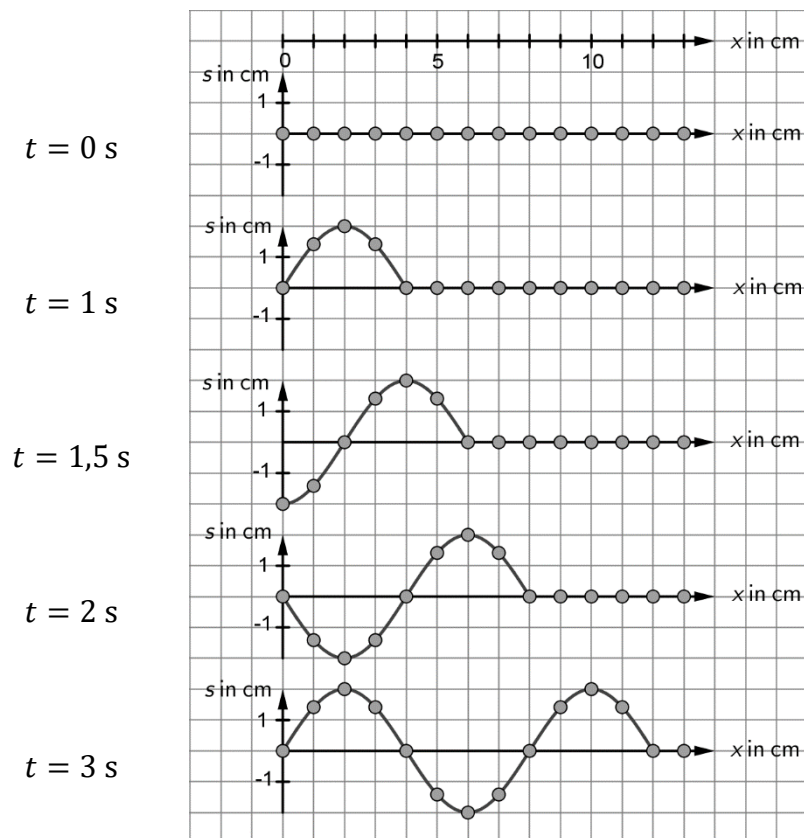
- 3.3** Beim Versuch in 3.2 wurde eine Vakuum-Fotozelle mit einer Cäsiumkathode verwendet. Anstatt von Cäsium können bei der Herstellung von Fotozellen andere Metalle mit größerer Austrittsenergie als Kathodenmaterial verwendet werden.

Erklären Sie den Einfluss eines Materials mit größerer Austrittsenergie im Vergleich zum Versuch in 3.2 auf die maximalen Geschwindigkeiten der Fotoelektronen. **[3 BE]**

- 3.4** UVB-Strahlung kann einen Sonnenbrand verursachen, sichtbares Licht selbst bei höherer Intensität nicht.

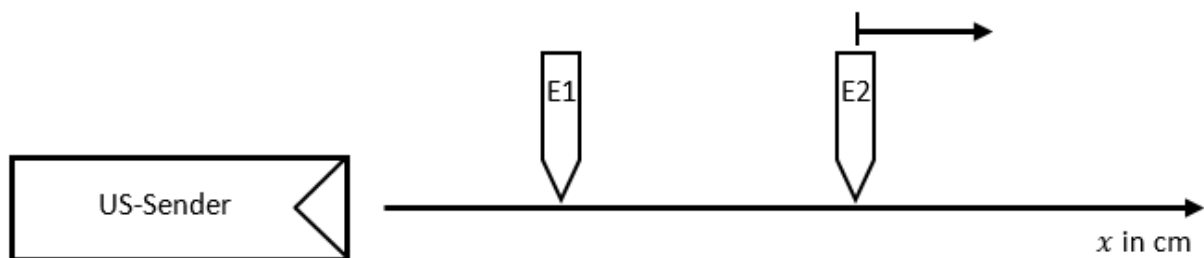
Stellen Sie unter Verwendung von M3b eine begründete Hypothese zu dem Sachverhalt auf. **[3 BE]**

Material



M1a: Schematische Darstellung der Ausbreitung einer harmonischen Welle

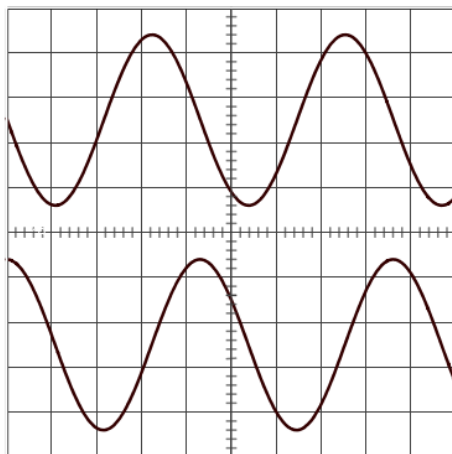
Dargestellt ist zu fünf verschiedenen Zeitpunkten die Elongation s in Abhängigkeit des Ortes x .



M1b: Aufbau des Experiments mit Ultraschall (US)

Die Frequenz des Ultraschalls (US) beträgt 40,0 kHz. Die Empfänger E1 und E2 registrieren den Ultraschall des Senders und sind an einem Oszilloskop angeschlossen (Oszilloskopbild siehe M1c). Der Empfänger E1 ist für alle Experimente in Aufgabe 1 am gleichen Ort.

Zur experimentellen Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Aufgabe 1.4 wird der Empfänger E2 entlang der x -Achse von Empfänger E1 weggezogen.



Kanal 1

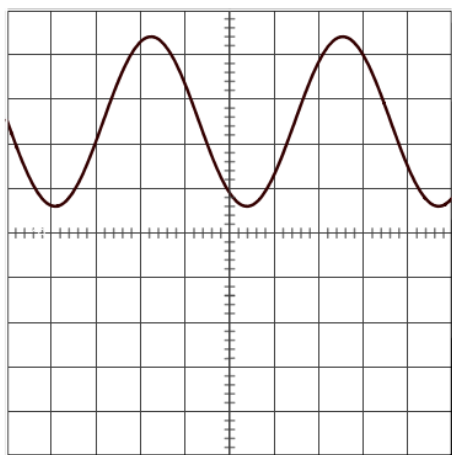
Kanal 2

Das Oszilloskop ist hier so eingestellt, dass Kanal 1 beim Unterschreiten eines bestimmten Wertes mit der Darstellung der Messung beginnt. Die obere Kurve startet somit auf der linken Seite stets wie hier abgebildet.

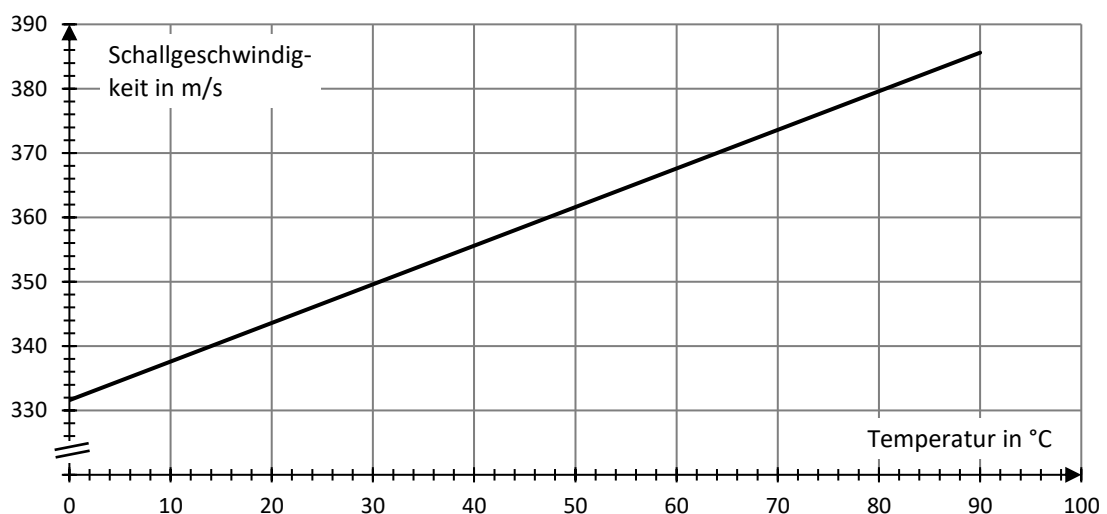
Zu genau dieser Zeit beginnt auch die zeitliche Darstellung der unteren Kurve.

Die Abnahme der Amplitude durch zunehmende Entfernung wird hier vernachlässigt.

M1c: Oszilloskopbild - Messung der Signale von Empfänger E1 (Kanal 1) und Empfänger E2 (Kanal 2)
E1 und E2 befinden sich für dieses Oszilloskopbild jeweils an einem festen Ort x .

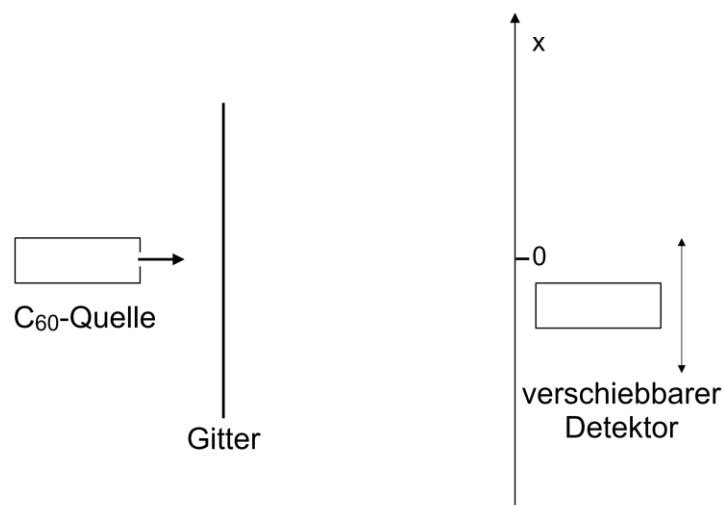


M1d: Zu ergänzendes Oszilloskopbild (Aufgabe 1.3)



M1e: Schallgeschwindigkeit in Luft in Abhängigkeit von der Temperatur

Zentralabitur 2024	Physik	Material für Prüflinge
Aufgabe I	eA	Prüfungszeit*: 300 min



M2a: Skizze des vereinfachten Versuchsaufbaus zum Experiment mit C_{60} -Molekülen
Gitterkonstante $g = 100 \text{ nm}$, Abstand vom Gitter zur Detektorebene $e = 1,25 \text{ m}$

Signal am Detektor
ohne Verwendung eines Gitters

Signal am Detektor
bei Verwendung eines Gitters

M2b: Impulse pro Zeit in Abhängigkeit von der Detektorposition
Die Kreise stellen die Messwerte dar, die durchgezogene Linie den theoretisch erwarteten Verlauf.
Quellenangabe s.u.

Zentralabitur 2024	Physik		Material für Prüflinge
Aufgabe I		eA	Prüfungszeit*: 300 min

v in $\frac{\text{m}}{\text{s}}$	150	200	220	250	300	350
λ in pm	5,19	3,87	3,46	2,97	2,55	2,22

M2c: Wellenlänge λ bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten v

Die Messreihe wurde mit Phthalocyanin-Molekülen der Masse $m \approx 8,53 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$ aufgenommen.

Quellenangabe s.u.

Die Kurve a gibt die Geschwindigkeitsverteilung ohne Geschwindigkeitsfilter an und die Kurve b die Verteilung mit Filter. Bei beiden Kurven wurde das Maximum der Ausgleichskurve auf 1 normiert.

Ohne die Normierung wäre die Zählrate der Kurve b deutlich geringer, da durch den Geschwindigkeitsfilter die Rate der C_{60} -Moleküle, die das Gitter passieren, deutlich sinkt.

M2d: Geschwindigkeitsverteilung der C_{60} -Moleküle

Quellenangabe s.u.

M2e: Impulse pro Zeit in Abhängigkeit von der Detektorposition

Die Punkte stellen die Messwerte dar, die durchgezogene Linie den theoretisch erwarteten Verlauf.

Quellenangaben:

M2a und M2b zusammengestellt und verändert aus:

Arndt M., Nairz O.: Grenzgänger: Welle-Teilchen Dualismus von C_{60} . Plus Lucis 3/99 (1999) S. 5-7

M2d, M2e zusammengestellt und verändert aus:

Nairz O., Arndt M., Zeilinger A.: Quantum interference experiments with large molecules. Am. J. Phys. 71 (2003) S. 319-325.

Zentralabitur 2024	Physik		Material für Prüflinge
Aufgabe I		eA	Prüfungszeit*: 300 min

λ in 10^{-9} m	611	588	525	505	472
U_0 in V	0,08	0,14	0,41	0,54	0,64
f in 10^{14} Hz	4,91	5,10	5,71		6,36
E_{kin} in 10^{-19} J	0,128	0,224	0,656		1,024

M3a: Messwerte für Aufgabenteil 3.2

Angegeben sind die Spannungen U_0 bei Beleuchtung der Fotozelle mit Licht verschiedener Wellenlängen λ und die daraus berechneten Werte für die Frequenz f des Lichts und die kinetischen Energien der ausgelösten Elektronen E_{kin} .

Ein Sonnenbrand entsteht bei der Bestrahlung der Zellen der obersten Hautschicht mit UVB-Strahlung. Die UVB-Strahlung ist der kurzwellige Bereich der UV-Strahlen mit einem Wellenlängenbereich von 280 – 315 nm. Diese Strahlung kann schon bei geringer Intensität zu einem Sonnenbrand führen. Durch Bestrahlung der Haut mit sichtbarem Licht (380 – 770 nm) besteht selbst bei höherer Intensität keine Sonnenbrandgefahr. Bei einem Sonnenbrand nehmen Elektronen in den Atomen der DNA Energie von der Strahlung auf. Dadurch werden chemische Bindungen in der DNA aufgebrochen und damit die Zellen geschädigt.

M3b: Informationstext zur Entstehung eines Sonnenbrandes

Hilfsmittel

- Taschenrechner
- Eine von der Schule eingeführte für das Abitur zugelassene physikalische Formelsammlung
- Eine von der Schule eingeführte für das Abitur zugelassene mathematische Formelsammlung