*Die Prüfungszeit setzt sich zusammen aus 220 min Bearbeitungszeit und 30 min Auswahlzeit.

Thema: Interferenz – Schwingungen – Elektronen

In Aufgabe 1 wird die Intensitätsverteilung im Spektrum einer Leuchtdiode (LED) untersucht.
In Aufgabe 2 geht es um die Schwingungen eines Feder-Masse-Pendels und eines horizontalen Federschwingers. Ein Franck-Hertz-Versuch mit Heliumgas ist Gegenstand von Aufgabe 3.

Aufgabenstellung

Aufgabe 1

Das Licht einer LED kann mithilfe der objektiven Methode untersucht werden.

1.1 Bei Interferenzexperimenten mit Licht einer LED und einem Doppelspalt entstehen Maxima auf dem Schirm.

Erläutern Sie deren Entstehung.

Wenn der Abstand e zwischen Doppelspalt und Schirm wesentlich größer ist als der Spaltmittenabstand g des Doppelspalts, gilt für die Interferenzmaxima folgende Gleichung:

$$n \cdot \lambda = g \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{a_\mathrm{n}}{e}\right)\right)$$

n: Ordnung des Maximums; λ: Wellenlänge; a_n: Abstand zwischen dem Maximum 0. Ordnung und dem Maximum n-ter Ordnung

Leiten Sie diese Gleichung anhand der Skizze in Material 1a (M1a) begründet her, wobei Sie diese Skizze auch vervollständigen. **[8 BE]**

1.2 Anstelle des Doppelspalts wird nun ein optisches Gitter verwendet. Mit einem Lichtsensor werden die Intensitäten im Bereich des Maximums 1. Ordnung ausgemessen (M1b). Die Messwerte sind in M1c gegeben.

Stellen Sie die Messwerte aus M1c in einem a-U-Diagramm dar.

Ermitteln Sie mithilfe des a-U-Diagramms die Wellenlänge λ_max maximaler Intensität des Lichts der grün leuchtenden LED.

Erläutern Sie eine Möglichkeit, um die Wellenlänge λ_max genauer zu bestimmen. **[9 BE]**

1.3 Das in 1.2 beschriebene Experiment wird mit einer weiß leuchtenden LED wiederholt. Die weiße LED sendet u. a. sichtbares Licht im Wellenlängenbereich von $400\ \mathrm{nm}$ bis $770\ \mathrm{nm}$ aus. Alle anderen Paramater bleiben konstant. Es ist zu beobachten, dass das Maximum 1. Ordnung bei der weiß leuchtenden LED breiter ist als bei der grün leuchtenden LED.

Erklären Sie diesen Unterschied. **[3 BE]**

Aufgabe 2

In dieser Aufgabe werden die Bewegungen eines Feder-Masse-Pendels (M2a) und eines horizontalen Federschwingers (M2b) betrachtet.
Hinweis: Reibungseffekte sollen nicht berücksichtigt werden.

2.1 Ein Feder-Masse-Pendel wie in M2a führt eine harmonische Schwingung aus.

Erläutern Sie am Beispiel des Feder-Masse-Pendels die Begriffe Amplitude, Periodendauer, Frequenz und harmonische Schwingung. **[4 BE]**

2.2 Für die Periodendauer T eines Feder-Masse-Pendels gilt: $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$.

Planen Sie ein Experiment, mit dem man die Abhängigkeit der Periodendauer T von der Masse m möglichst genau untersuchen kann.

Das Feder-Masse-Pendel aus M2a wird um $4\ \mathrm{cm}$ nach unten ausgelenkt und losgelassen. M2c zeigt das zugehörige Zeit-Auslenkung-Diagramm.

Ermitteln Sie anhand von M2c die Masse m des Feder-Masse-Pendels.

Nun wird die Masse m vervierfacht. Das Pendel wird nach wie vor um $4\ \mathrm{cm}$ ausgelenkt.

Skizzieren Sie einen zugehörigen Graphen in M2c. **[9 BE]**

2.3 Im Folgenden wird der horizontale Federschwinger aus M2b betrachtet. In einem Experiment wurde die Periodendauer T in Abhängigkeit von der Masse m untersucht. Die Tabelle in M2d enthält die zugehörigen Messdaten.

Bestätigen Sie den Zusammenhang $T = 1{,}80\ \frac{\mathrm{s}}{\sqrt{\mathrm{kg}}} \cdot \sqrt{m}$, wobei Sie Ihr Vorgehen in der aus dem Unterricht bekannten Weise dokumentieren.

Die Periodendauer eines horizontalen Federschwingers kann mit der Formel $T = \frac{2\pi}{\sqrt{K}} \cdot \sqrt{m}$ berechnet werden, wobei K eine Konstante des Federschwingers ist.

Ermitteln Sie die Konstante K für den Federschwinger. **[7 BE]**

Aufgabe 3

In dieser Aufgabe geht es um die Vorgänge beim Franck-Hertz-Versuch.

3.1 Es wird eine Franck-Hertz-Röhre nach M3a betrachtet. Wechselwirkungen von den Elektronen mit den Gasatomen sollen zunächst nicht berücksichtigt werden.

Erläutern Sie die Funktionen der Spannungen U_{H}, U_{B} und U_{G} (M3a) beim Franck-Hertz-Versuch. **[3 BE]**

3.2 Mit dem Versuchsaufbau in M3a wird ein Franck-Hertz-Versuch durchgeführt. Die Röhre ist mit Heliumgas gefüllt. Die Messdaten sind in M3b dargestellt.

Beschreiben Sie die Versuchsdurchführung zur Aufnahme dieses Graphen.

Deuten Sie den Verlauf des Graphen in M3b für Beschleunigungsspannungen zwischen $U_{\mathrm{B}} = 20\ \mathrm{V}$ und $U_{\mathrm{B}} = 30\ \mathrm{V}$.

M3c zeigt ein vereinfachtes Energieniveauschema eines Heliumatoms.

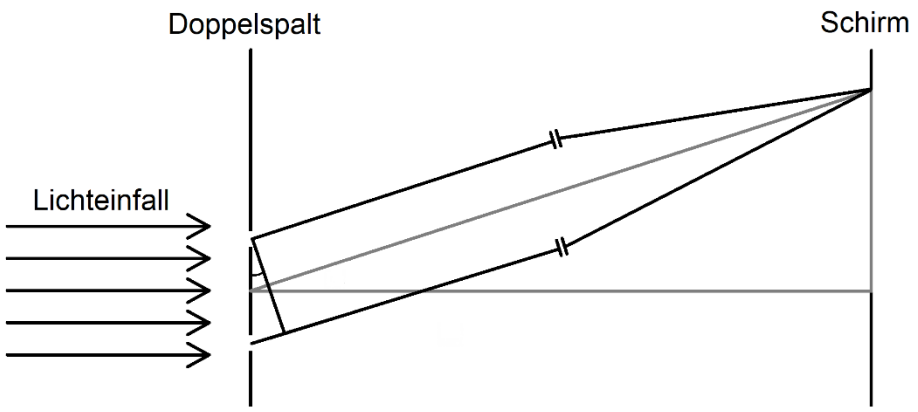
Werten Sie die Messdaten in M3b unter Einbeziehung des Energieniveauschemas in M3c aus. **[11 BE]**

3.3 Bei höheren Beschleunigungsspannungen ist ein Leuchten in der Röhre zu erkennen. Man kann zeigen, dass dieses Leuchten violette Anteile enthält.
Hinweis: Gehen Sie davon aus, dass für die Wellenlänge λ sichtbaren Lichts mit violetter Färbung gilt: $400\ \mathrm{nm} < \lambda < 430\ \mathrm{nm}$.

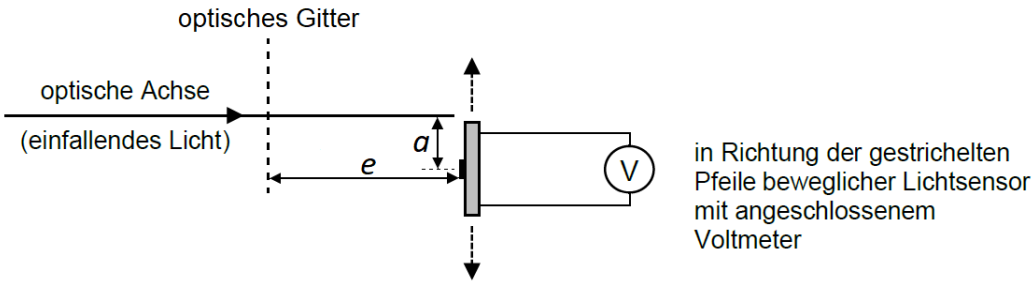
Bestätigen Sie, dass bei mindestens einem Übergang in M3c Licht violetter Farbe emittiert wird.

Stellen Sie eine begründete Hypothese auf, warum erst bei höheren Beschleunigungsspannungen ein sichtbares Leuchten im Inneren der Röhre zu sehen ist. **[6 BE]**

Material



M1a: Skizze zur Interferenz am Doppelspalt zum Vervollständigen (vgl. 1.1)



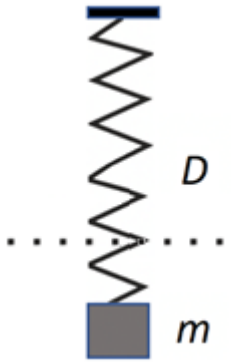
M1b: Vereinfachte Darstellung eines Teils des Versuchsaufbaus zum Experiment in 1.2

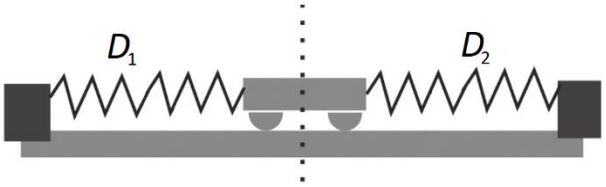
Zur Messung wird der Lichtsensor senkrecht zur optischen Achse bewegt.
Die ausgegebene Spannung des Lichtsensors ist ein Maß für die Lichtintensität.

Abstand a des Lichtsensors zum Maximum 0. Ordnung in cm	9,5	9,7	9,9	10,1	10,3	10,5	10,7	10,9	11,1	11,3	11,5
Spannung U in V	0,000	0,004	0,020	0,053	0,087	0,105	0,072	0,044	0,022	0,011	0,006

M1c: Messwerte im Maximum 1. Ordnung der grün leuchtenden LED für den Versuch in 1.2

Der Abstand des Gitters zur Sensorebene beträgt $e = 38{,}8\ \text{cm}$.
Die Gitterkonstante beträgt $g = \frac{1}{500}\ \text{mm}$.





M2a: Aufbau eines Feder-Masse-Pendels

Masse m unbekannt

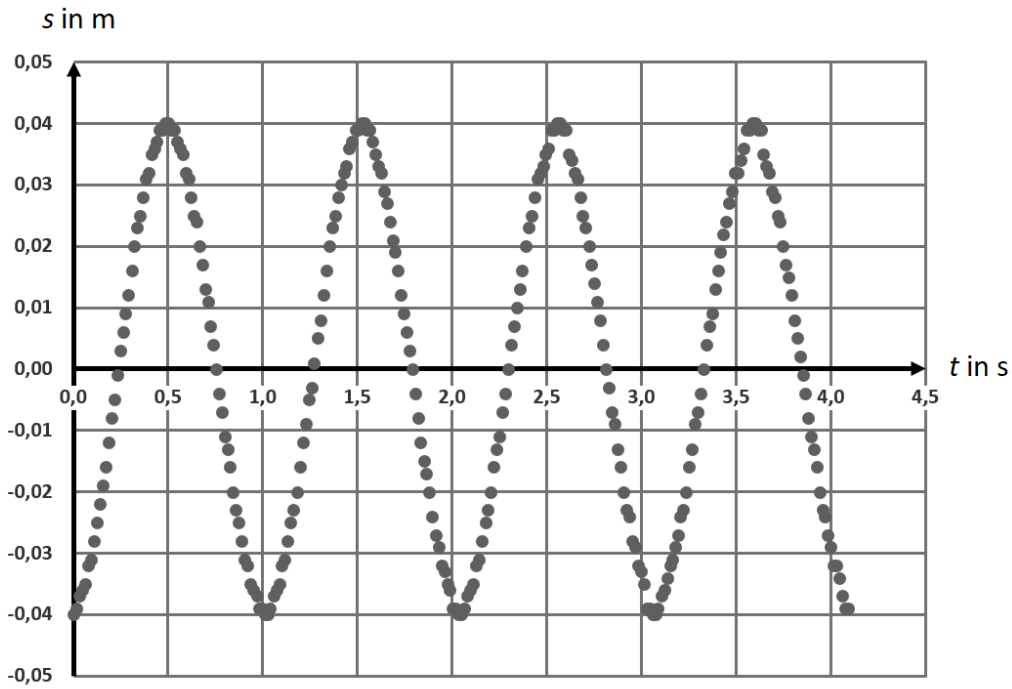
Federkonstante $D = 6{,}1\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}$

M2b: Aufbau eines horizontalen Federschwingers

Masse m variabel

Federkonstanten $D_1 = D_2 = 6{,}1\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}$

Die Massen der Federn können in beiden Versuchen vernachlässigt werden. Die gepunkteten Linien markieren die Gleichgewichtslage.



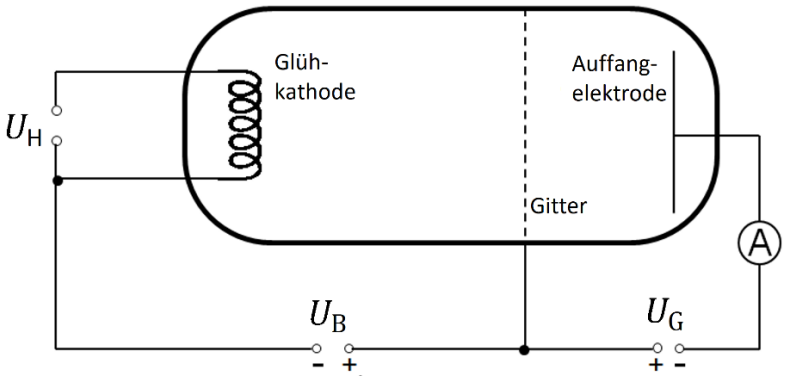
M2c: Zeit-Auslenkung-Diagramm eines Feder-Masse-Pendels

Masse m unbekannt, Federkonstante $D = 6{,}1\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}$

Masse m in kg	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20
Periodendauer T in s	0,00	0,40	0,58	0,72	0,79

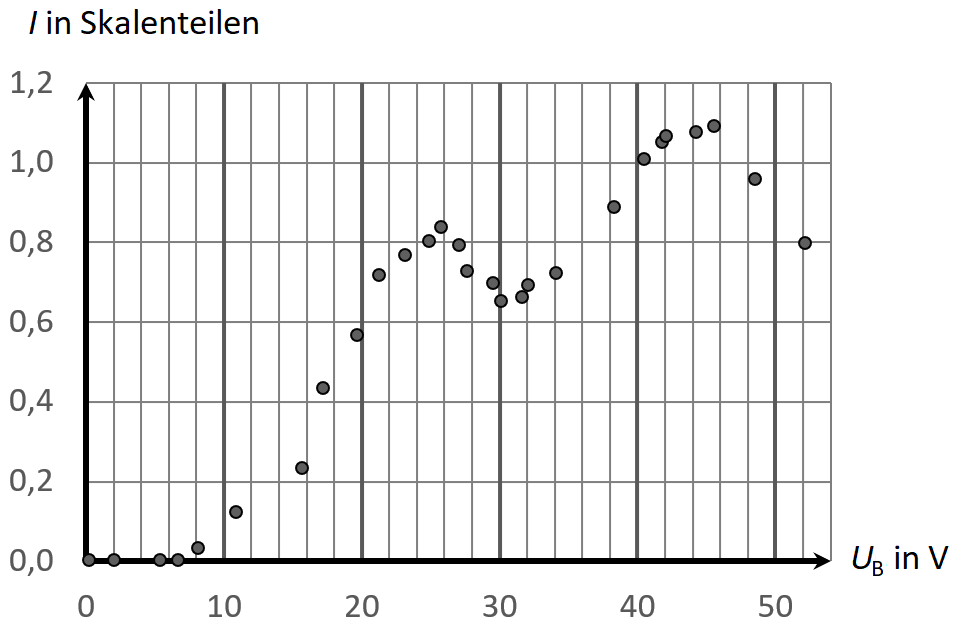
M2d: Messdaten für die Periodendauer T in Abhängigkeit von der Masse m eines horizontalen Federschwingers mit zwei Federn

Federkonstanten $D_1 = D_2 = 6{,}1\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}$



M3a: Vereinfachter Versuchsaufbau zum Franck-Hertz-Experiment in Aufgabe 3

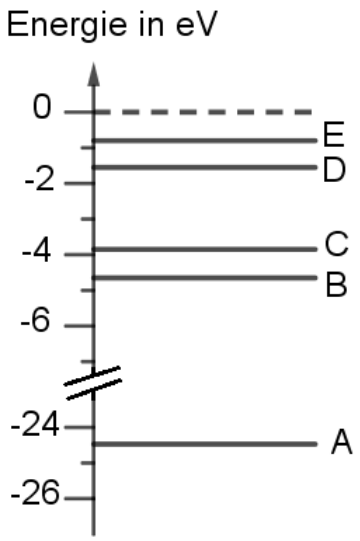
In der Röhre befindet sich Heliumgas.



M3b: Messdaten zum Franck-Hertz-Experiment in 3.2

Die Gegenspannung beträgt $U_G = 7\ \mathrm{V}$.

Die Stromstärke I des Elektronenstroms wird in Skalenteilen angegeben.



M3c: Vereinfachtes Energieniveauschema eines Helium-Atoms

Im Grundzustand ist A das höchste besetzte Energieniveau. Zur besseren Ablesbarkeit ist der Bereich zwischen $-7\ \mathrm{eV}$ und $-24\ \mathrm{eV}$ ausgelassen.

Hilfsmittel

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