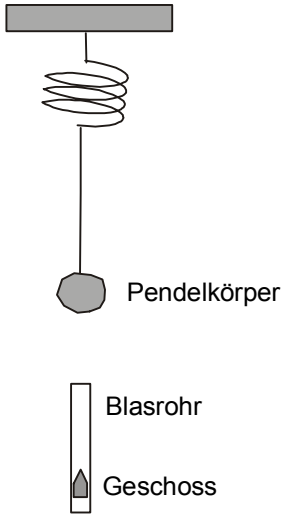
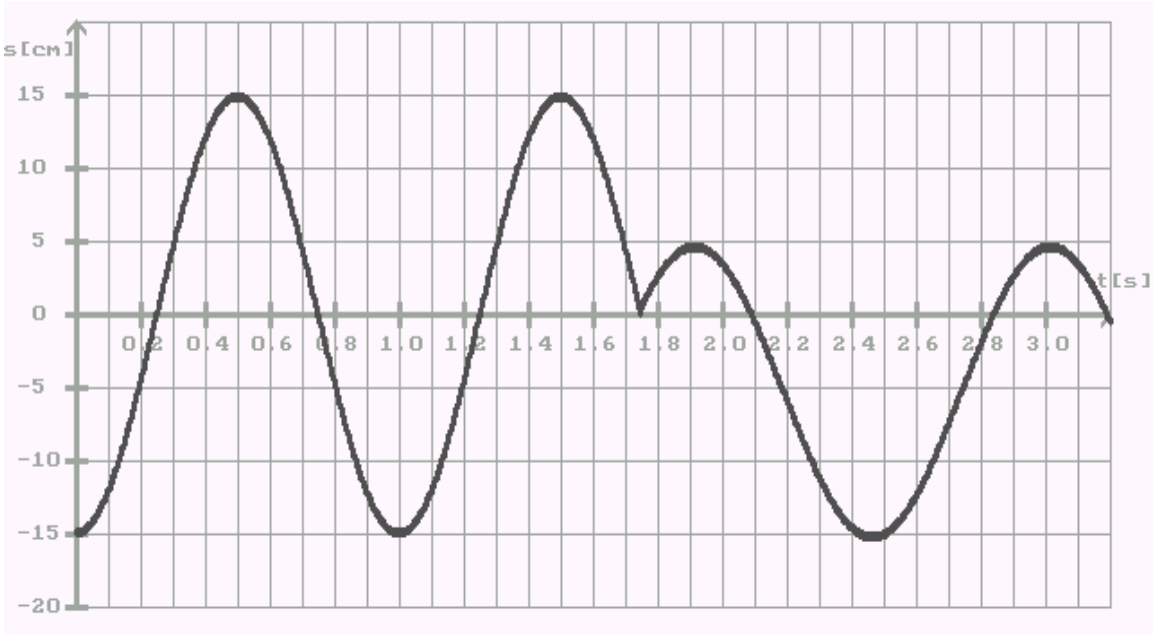
Fach: Physik
Prüfungsart: 1./2. Prüfungsfach
Dauer: 5 Stunden

Hinweise: Zugelassene Hilfsmittel: Taschenrechner
Die Aufgaben umfassen 6 Seiten.
Die Zahlenwerte benötigter Konstanten sind nach der Aufgabe III zusammengefasst.

## Aufgabe I

1 Ein Federpendel besteht aus einer Feder mit vernachlässigbar kleiner Masse und einem Pendelkörper mit der Masse 50,7 g. Das Federpendel wird aus der Ruhelage um 15 cm nach unten ausgelenkt und zum Zeitpunkt t = 0 s losgelassen. Das Weg-Zeit-Diagramm der Bewegung des Federpendels ist unten dargestellt. Unter das Federpendel wird ein Blasrohr vertikal aufgestellt, mit dem ein Geschoss der Masse m abgefeuert wird. Das Geschoss trifft den Pendelkörper zum Zeitpunkt t = 1,75 s zentral und bleibt in ihm stecken.




1.1 Betrachten Sie die Bewegung des Federpendels vor dem Eindringen des Geschosses.
1.1.1 Berechnen Sie anhand des Diagramms die Federkonstante. (Ergebnis: 2 N/m)
1.1.2 Geben Sie das s-t-Gesetz und das v-t-Gesetz an.
1.1.3 Weisen Sie nach, dass der Pendelkörper unmittelbar vor dem Eindringen des Geschosses den Geschwindigkeitsbetrag 0,94 m/s hat.

1.2 Betrachten Sie nun die Bewegung des Federpendels nach dem Eindringen des Geschosses.

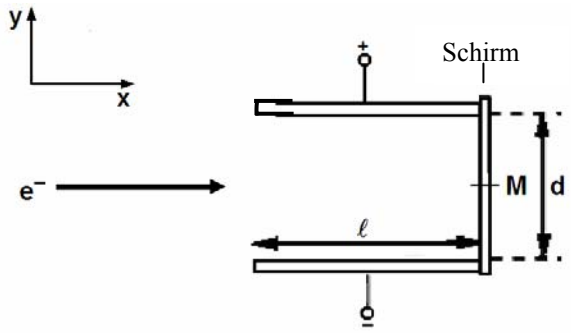
1.2.1 Berechnen Sie die Masse m des Geschosses. (Ergebnis: 10,6 g)

1.2.2 Begründen Sie durch Rechnung, dass sich die Ruhelage des Federpendels um etwa 5 cm nach unten verschoben hat.

1.2.3 Bestimmen Sie die Energie, die nun in der Schwingung enthalten ist.

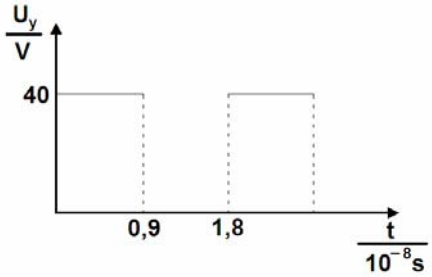
1.3 Der Pendelkörper hat unmittelbar nach dem Eindringen des Geschosses die Geschwindigkeit 0,49 m/s. Berechnen Sie die Geschwindigkeit des Geschosses unmittelbar vor dem Eindringen in den Pendelkörper.

2 Elektronen treten mit der Geschwindigkeit $v_0 = 5 \cdot 10^6$ m/s senkrecht zu den elektrischen Feldlinien in einen Plattenkondensator (Länge $\ell = 9$ cm; Plattenabstand d = 6 cm) ein (s. Abb.). Direkt am Ende befindet sich ein Leuchtschirm. Am Kondensator liegt die Spannung $U_y$ an.




2.1 In einem ersten Versuch sei $U_y = 40$ V. Mit welcher Geschwindigkeit und in welchem Abstand von der Mitte M treffen die Elektronen auf dem Leuchtschirm auf?

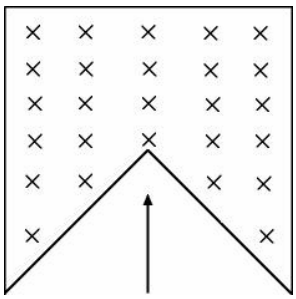
2.2 In einem zweiten Experiment liegt an den Kondensatorplatten eine Rechteckspannung $U_y$. Ein Elektron tritt zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ s wie oben mit der Geschwindigkeit $v_0$ in den Plattenkondensator ein.




2.2.1 Begründen Sie, dass dieses Elektron die gleiche Zeit zum Durchfliegen des Kondensators benötigt wie die Elektronen aus 2.1.

2.2.2 Mit welcher Geschwindigkeit trifft dieses Elektron auf dem Schirm auf?

3 In einem Bereich, der drei Viertel eines Quadrates mit der Seitenlänge 1,2 m darstellt, wirkt ein homogenes Magnetfeld der Flussdichte $2{,}275 \cdot 10^{-4}$ T senkrecht in die Zeichenebene. Der äußere Raum ist feldfrei.



In der eingezeichneten Richtung fliegen Elektronen mit der Geschwindigkeit $10^7$ m/s senkrecht zu den Feldlinien in das Feld.

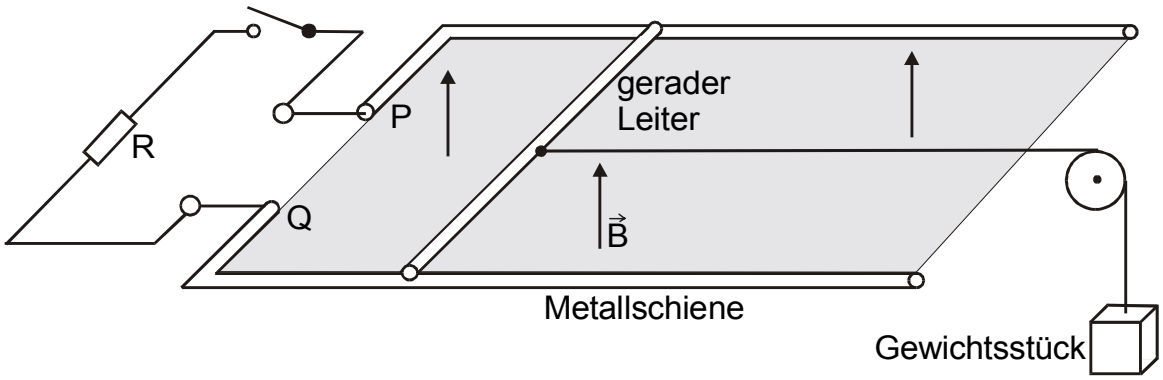
3.1 Zeigen Sie durch Rechnung, dass die Elektronen nach dem Eintritt in das Feld zunächst einen Kreisbogen mit dem Radius 25 cm beschreiben.

3.2 Zeichnen Sie die Flugbahn der Elektronen bis zum endgültigen Verlassen des Feldes in eine Skizze im Maßstab 1:10 ein.

3.3 Bestimmen Sie die Gesamtaufenthaltsdauer der Elektronen im Magnetfeld.

## Aufgabe II

Auf zwei parallelen, horizontal angeordneten Metallschienen kann ein gerader metallischer Leiter (l = 20 cm, m = 20 g) reibungsfrei gleiten. Am Leiter ist über ein Seil und eine Umlenkrolle ein Gewichtsstück der Masse M = 100 g befestigt.
Der Widerstand zwischen den Enden P und Q der Metallschienen beträgt bei geschlossenem Schalter 1 Ω, der des geraden Leiters und der Metallschienen ist vernachlässigbar.
Die Anordnung befindet sich in einem homogenen Magnetfeld mit der Flussdichte B = 3 T.
Die Feldlinien verlaufen vertikal von unten nach oben.




1.1 Zum Zeitpunkt t = 0 s wird das Gewichtsstück bei geöffnetem Schalter losgelassen.

1.1.1 Begründen Sie, dass zwischen den Punkten P und Q eine Spannung entsteht.

1.1.2 Geben Sie mit Begründung die Polung der Spannung an.

1.1.3 Zeigen Sie, dass folgendes Spannungs-Zeit-Gesetz gilt: $U(t) = 4{,}91\,\frac{V}{s} \cdot t$.

1.2 Der Schalter wird nach der Zeit $t_1$ geschlossen.

1.2.1 Begründen Sie, dass nun auf den geraden Leiter eine zusätzliche Kraft entgegen der Bewegungsrichtung wirkt.

1.2.2 Wie muss die Zeit $t_1$ gewählt werden, damit sich der Leiter unmittelbar nach dem Schließen des Schalters mit konstanter Geschwindigkeit bewegt? (Ergebnis: 0,33 s)

1.2.3 Welche Energieumwandlung findet bei der gleichförmigen Bewegung des Leiters statt? Berechnen Sie die Energie, die pro Sekunde umgewandelt wird.

2 Eine Serienschaltung aus einer Spule mit der Induktivität L und einem ohmschen Widerstand R wird zum Zeitpunkt t = 0 s an eine Gleichspannung $U_0$ angeschlossen.

2.1 Skizzieren Sie das Schaltbild und zeigen Sie, dass für die Stromstärke-Zeit-Funktion $I(t)$ die folgende Differenzialgleichung gilt: $\dot{I}(t) = \frac{U_0}{L} - \frac{R}{L} \cdot I(t)$.

2.2 Die Lösung der Differenzialgleichung lautet: $I(t) = \frac{U_0}{R} \cdot \left(1 - e^{-\frac{R}{L} \cdot t}\right)$.
Skizzieren Sie das Stromstärke-Zeit-Diagramm für L = 50 H, R = 20 Ω und $U_0$ = 2 V über dem Zeitintervall [0s ; 10s] mit Hilfe von 6 Stützwerten.

3.1 Paralleles monochromatisches Licht fällt senkrecht auf ein optisches Gitter. Leiten Sie anhand einer Skizze eine Beziehung für die Winkel her, unter denen Intensitätsmaxima zu beobachten sind.

3.2 Paralleles Licht aus einer Quecksilberdampflampe fällt senkrecht auf ein optisches Gitter mit 570 Strichen pro Millimeter. Parallel zum Gitter ist im Abstand e = 0,30 m ein Schirm aufgestellt. Aus dem Licht der Lampe werden die Vakuumwellenlängen $\lambda_1$ = 405 nm (violett) und $\lambda_2$ = 579 nm (gelb) herausgefiltert.

3.2.1 Untersuchen Sie für beide Wellenlängen $\lambda_1$ und $\lambda_2$, bis zu welcher Ordnung jeweils Maxima hinter dem Gitter auftreten.

3.2.2 Nun füllt man den Raum zwischen Gitter und Schirm mit einer Flüssigkeit. In der folgenden Tabelle sind die Abstände d der Maxima 2. Ordnung vom Maximum 0. Ordnung auf dem Schirm angegeben.

| Vakuumwellenlänge | Abstand d |
|---|---|
| $\lambda_1$ = 405 nm | 8,5 cm |
| $\lambda_2$ = 579 nm | 13,3 cm |

Berechnen Sie jeweils die Wellenlänge und die Geschwindigkeit des Lichts der beiden Farben in der Flüssigkeit. Bestimmen Sie jeweils den Brechungsindex der Flüssigkeit.

## Aufgabe III

1 Beschreiben Sie Aufbau und Ziel des Michelson-Versuchs. Nennen Sie das Ergebnis und eine daraus gezogene Folgerung.

2 Für stationäre Myonen wird eine mittlere Lebensdauer von 2,2 µs gemessen. Bei der Beobachtung schneller Myonen in einem kosmischen Strahlungsausbruch misst man von der Erde aus einen Wert von 16 µs. Welche Masse als Vielfaches ihrer Ruhemasse haben diese Myonen?
Hinweis: Die Zeitdilatation in einem bewegten Bezugssystem wird beschrieben durch:

$$\Delta t' = \Delta t \cdot \left( \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right)^{-1} .$$

3 Compton untersuchte 1922 die Streuung von monochromatischer Röntgenstrahlung an Graphit. Er entdeckte, dass im Spektrum der Streustrahlung stets zwei Komponenten auftreten. Unter dem Streuwinkel $\vartheta$ erscheint neben der Linie der Primärstrahlung mit der Wellenlänge $\lambda$ eine zweite Linie mit der Wellenlänge $\lambda'$.
Dabei gilt für die Wellenlängenänderung: $\Delta\lambda = \lambda_C \cdot (1 - \cos(\vartheta))$ mit $\lambda_C = h \cdot (m_e \cdot c)^{-1}$.

3.1 Deuten Sie die beobachtete Wellenlängenänderung.

3.2 Berechnen Sie die maximale Wellenlängenänderung, die ein Photon bei einer solchen Streuung erfahren kann. Bei welchem Streuwinkel tritt sie auf?

3.3 Berechnen Sie die größtmögliche prozentuale Wellenlängenänderung für sichtbares Licht der Wellenlänge 550 nm. Kommentieren Sie das Ergebnis.

3.4 Nun soll die Strahlung einer Röntgenröhre, die mit einer Beschleunigungsspannung von 30 kV betrieben wird, für diese Streuung verwendet werden.

3.4.1 Berechnen Sie die minimale Wellenlänge dieser Röntgenstrahlung.
(Ergebnis: $4{,}14 \cdot 10^{-11}$ m)

3.4.2 Ein Photon mit dieser minimalen Wellenlänge wird unter einem Winkel von 90° gegenüber seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt. Skizzieren Sie das zu diesem Streuprozess gehörende Impulsdiagramm. Bestimmen Sie durch nichtrelativistische Rechnung für das wegfliegende Elektron die Geschwindigkeit und den Winkel bezogen auf die Richtung der einfallenden Strahlung.

4 Bei genügend hoher Energie eines Photons beobachtet man das Phänomen der Paarerzeugung.

4.1 Bestimmen Sie die maximale Wellenlänge, die ein Photon haben darf, um eine Paarerzeugung hervorzurufen.

4.2 Begründen Sie, dass die Paarerzeugung grundsätzlich an das Vorhandensein von Materie geknüpft ist.

5 Im bohrschen Modell des Wasserstoffatoms beträgt die Gesamtenergie des Elektrons auf der n-ten Quantenbahn: $W_n = -\frac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}$. $n = 1, 2, 3, ...$

5.1 Leiten Sie aus dieser Energiebeziehung und der bohrschen Frequenzbedingung die allgemeine Serienformel für das Wasserstoffatom her.

5.2 In der Balmerserie sind die Übergänge von Quantenbahnen mit $n > 2$ auf die Quantenbahn mit $n = 2$ zusammengefasst. Bei dem Übergang mit der kleinsten Energiedifferenz wird Licht mit einer Wellenlänge von 656 nm emittiert. Berechnen Sie daraus die Rydbergfrequenz.

5.3 Berechnen Sie die Energie ( in eV ), die man dem H-Atom im Grundzustand mindestens zuführen muss, um es zu ionisieren?

| **Konstanten:** | | |
|---|---|---|
| | Ruhemasse des Elektrons | $m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg |
| | Elementarladung | $e = 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C |
| | Lichtgeschwindigkeit | $c = 3{,}00 \cdot 10^{8}$ m·s$^{-1}$ |
| | Plancksche Konstante | $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Js |
| | Erdbeschleunigung | $g = 9{,}81$ m·s$^{-2}$ |
| | Elektrische Feldkonstante | $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ AsV$^{-1}$m$^{-1}$ |