

Zentralabitur 2023	Physik	Material für Prüflinge
Aufgabe II b	eA	Prüfungszeit*: 300 min

*Die Prüfungszeit setzt sich zusammen aus 270 min Bearbeitungszeit und 30 min Auswahlzeit.

Thema: Interferenz – Schwingungen – Physik der Atomhülle

Im Rahmen der ersten Aufgabe werden Interferenzphänomene beim Doppelspalt und beim Übergang zu Mehrfachspalten behandelt. Harmonische Schwingungen sind Gegenstand der zweiten Aufgabe. Im Rahmen der dritten Aufgabe werden am Beispiel von Wasserstoff das Spektrum sowie energetische Zusammenhänge hierzu betrachtet.

Aufgabenstellung

Aufgabe 1

Zwei Lichtquellen werden verglichen. Anschließend werden ein Doppelspalt sowie weitere Interferenzobjekte untersucht.

- 1.1** Zunächst werden die Wellenlänge-Intensität-Diagramme von einer rot leuchtenden LED (LED-rot) und von einem rot leuchtenden Laser betrachtet, siehe Material 1a (M1a) und M1b.

Vergleichen Sie diese Diagramme.

Beurteilen Sie, welche der beiden Lichtquellen bei quantitativen Interferenzexperimenten genauere Messwerte ermöglicht.

[6 BE]

- 1.2** Es soll der Spaltmittenabstand d eines Doppelspalts mit dem Licht eines rot leuchtenden Lasers mit der objektiven Methode untersucht werden. M1c zeigt das zugehörige Schirmbild. Wenn der Abstand e zwischen Doppelspalt und Schirm wesentlich größer ist als der Spaltmittenabstand d des Doppelspalts, gilt für die Interferenzmaxima folgende Gleichung:

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

Ermitteln Sie unter Verwendung dieser Gleichung sowie M1b und M1c so genau wie möglich einen Wert für den Spaltmittenabstand d des verwendeten Doppelspalts.

Schätzen Sie die absolute Messunsicherheit für den ermittelten Wert für d ab.

Beschreiben Sie zwei experimentelle Maßnahmen, mit denen die Messunsicherheit für den Spaltmittenabstand d bei diesem Experiment reduziert werden kann.

[11 BE]

- 1.3** Nun wird der Doppelspalt durch einen Dreifachspalt mit gleichem Spaltmittenabstand d ersetzt. Der restliche Versuchsaufbau bleibt unverändert. M1d zeigt das zugehörige Schirmbild.

Erklären Sie das Zustandekommen der Nebenmaxima im Interferenzmuster in M1d.

Anstelle des Dreifachspalts wird nun ein Fünffachspalt verwendet, dessen Spaltmittenabstand d halb so groß ist wie beim Doppel- bzw. Dreifachspalt.

Der restliche Versuchsaufbau bleibt wiederum unverändert.

Skizzieren Sie das zu erwartende Schirmbild in M1d und begründen Sie die Auswirkung der Halbierung des Spaltmittenabstands d auf dieses Schirmbild.

Hinweis: Intensitätsbetrachtungen in den Nebenmaxima werden nicht erwartet.

[7 BE]

Zentralabitur 2023	Physik	Material für Prüflinge
Aufgabe II b	eA	Prüfungszeit*: 300 min

Aufgabe 2

Die Enden eines Stücks Fahrradkette der Länge l und der Masse m werden mit einer sehr leichten Schnur verbunden. Diese Schnur läuft über eine Seilrolle. In der Ruhelage sind die Enden der Kette auf gleicher Höhe (vgl. M2a, M2b). Wenn man die Kette um die Strecke s auslenkt (vgl. M2c), führt sie idealerweise harmonische Schwingungen um diese Ruhelage aus (bei Vernachlässigung der Dämpfung).

- 2.1** Ermitteln Sie für den in M2d gezeigten zeitlichen Verlauf der Schwingung möglichst genau die Periodendauer dieser Schwingung und ergänzen Sie den Wert in der Wertetabelle M2e. **[3 BE]**

- 2.2** Wenn man die Kettenlänge variiert, verändert sich die Periodendauer der Schwingung. In der Tabelle M2e finden Sie die Messwerte für die Periodendauer T in Abhängigkeit von der Kettenlänge l .

Zeichnen Sie ein l - T -Diagramm einschließlich einer geeigneten Ausgleichskurve.

Ermitteln Sie den funktionalen Zusammenhang $T = f(l)$ und dokumentieren Sie Ihr Vorgehen in der vereinbarten Form. **[9 BE]**

- 2.3** Begründen Sie anhand von M2b und M2c, dass für die Rückstellkraft F_R gilt:

$$F_R = -\frac{2 \cdot s(t)}{l} \cdot m \cdot g$$

$s(t)$: momentane Auslenkung
 m : Masse der Fahrradkette
 l : Länge der Fahrradkette
 g : Ortsfaktor bzw. Erdbeschleunigung

Hinweis: Gehen Sie dabei davon aus, dass die Masse der Kette gleichmäßig über ihre Länge verteilt ist, die Masse der Schnur vernachlässigt werden kann und $s(t) < \frac{l}{2}$ gilt. **[3 BE]**

- 2.4** Für jeden harmonischen Oszillator (wie z. B. das Feder-Masse-Pendel) gilt, dass die Rückstellkraft F_R proportional zur Auslenkung $s(t)$ ist:

$$F_R = -D \cdot s(t)$$

D : Richtgröße der Schwingung

Der Proportionalitätsfaktor D wird auch als „Richtgröße“ einer harmonischen Schwingung bezeichnet. (Im Fall des Feder-Masse-Pendels handelt es sich dabei um die Federkonstante.) Für die Periodendauer bei einem harmonischen Oszillator gilt:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$$

m : Masse des Pendelkörpers
 D : Richtgröße der Schwingung

Ermitteln Sie mithilfe des Zusammenhangs in 2.3 eine Gleichung für die Richtgröße D bei der Kettenschwingung.

Bestätigen Sie mit der von Ihnen ermittelten Richtgröße, dass für die Periodendauer T bei der schwingenden Fahrradkette gilt:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{2g}}$$

l : Länge der Fahrradkette
 g : Ortsfaktor bzw. Erdbeschleunigung

Überprüfen Sie, ob diese Gleichung durch die Ergebnisse des Experiments bestätigt wird.

[9 BE]

Zentralabitur 2023	Physik	Material für Prüflinge
Aufgabe II b	eA	Prüfungszeit*: 300 min

Aufgabe 3

In einer speziellen Röhre wird Wasserstoff zum Leuchten angeregt (Balmer-Lampe). Das aufgenommene Spektrum enthält in diesem Experiment nicht nur Spektrallinien der Balmer-Serie, sondern auch einige weitere Linien (M3a).

3.1 Erläutern Sie die atomaren Prozesse, die zu einem Emissionsspektrum von Gasen führen.

[3 BE]

3.2 Für Wasserstoff gilt die auf die Balmer-Formel zurückgehende Gleichung:

$$f = f_R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

f : Frequenz
 $f_R = 3,2898 \cdot 10^{15}$ Hz, Rydbergfrequenz
 $n = 1, 2, 3, \dots, m = 2, 3, 4, \dots$ und $m > n$
 $n = 2$: Balmer-Serie, $n = 1$: Lyman-Serie

Untersuchen Sie, ob die in M3a markierten Spektrallinien I bis III zur Balmer-Serie gehören.

Bestätigen Sie den Wert von $\lambda \approx 365$ nm für die kleinste Wellenlänge der Balmer-Serie (Seriengrenze).

Begründen Sie, dass alle Spektrallinien der Lyman-Serie ($n = 1$) im ultravioletten Bereich ($\lambda < 390$ nm) liegen.

[9 BE]

3.3 Man kann die in 3.2 angegebene Gleichung auch nutzen, um das Energieniveauschema für Wasserstoff zu entwickeln. Der Grundzustand von Wasserstoff liegt bei $-13,61$ eV und der erste angeregte Zustand liegt $10,21$ eV oberhalb des Grundzustands.

Zeichnen Sie auf Basis dieser Informationen und der in 3.2 angegebenen Gleichung ein Energieniveauschema des Wasserstoffs für die untersten sechs Stufen. Aus diesem sollen auch die Energien der Niveaus hervorgehen.

Stellen Sie, soweit möglich, die Übergänge, die zu den in M3a markierten Spektrallinien I bis III gehören, durch Pfeile in Ihrem Energieniveauschema dar.

[7 BE]

3.4 In einem Gedankenexperiment ist ein durchsichtiges Gefäß mit atomarem Wasserstoff gefüllt. Die Wasserstoffatome können sich dabei entweder im Grundzustand oder in angeregten Zuständen befinden. Das Licht einer Glühlampe (M3b) fällt durch dieses Gefäß auf ein Spektrometer.

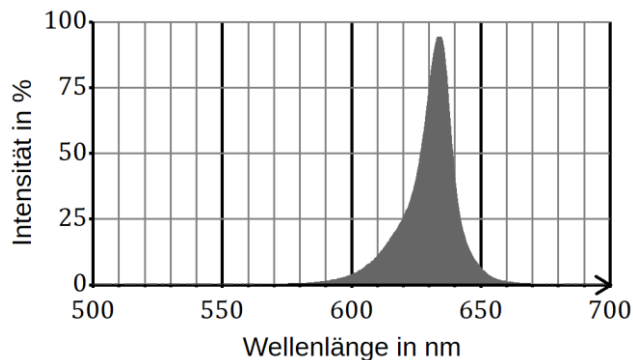
Stellen Sie jeweils eine begründete Hypothese über das grundsätzlich zu erwartende Spektrum auf,

- wenn sich der Wasserstoff im Grundzustand befindet oder
- wenn sich der Wasserstoff z. B. im ersten angeregten Zustand befindet.

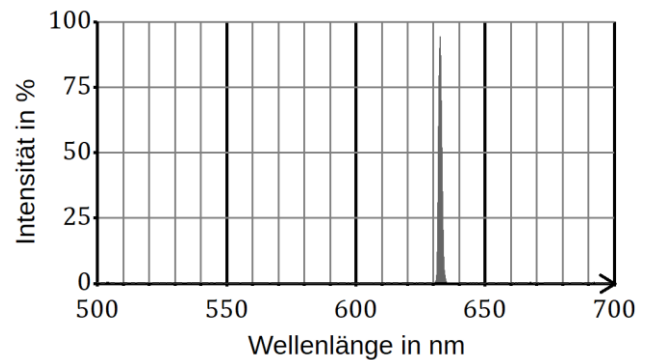
[5 BE]

Zentralabitur 2023	Physik	Material für Prüflinge
Aufgabe II b	eA	Prüfungszeit*: 300 min

Material

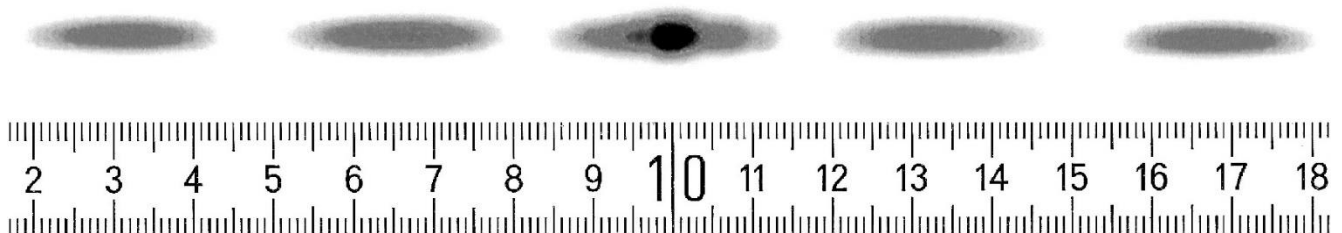


M1a: Wellenlänge-Intensität-Diagramm einer rot leuchtenden LED



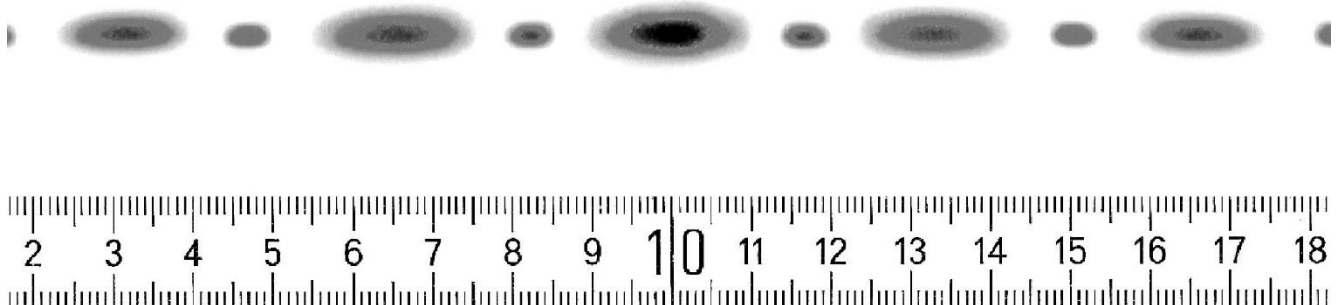
M1b: Wellenlänge-Intensität-Diagramm eines rot leuchtenden Lasers

Hinweis: Intensitäten in M1a und M1b können nicht verglichen werden, weil sie unabhängig voneinander normiert sind.



M1c: Ausschnitt aus dem Schirmbild bei Beleuchtung eines Doppelspalts mit Laserlicht

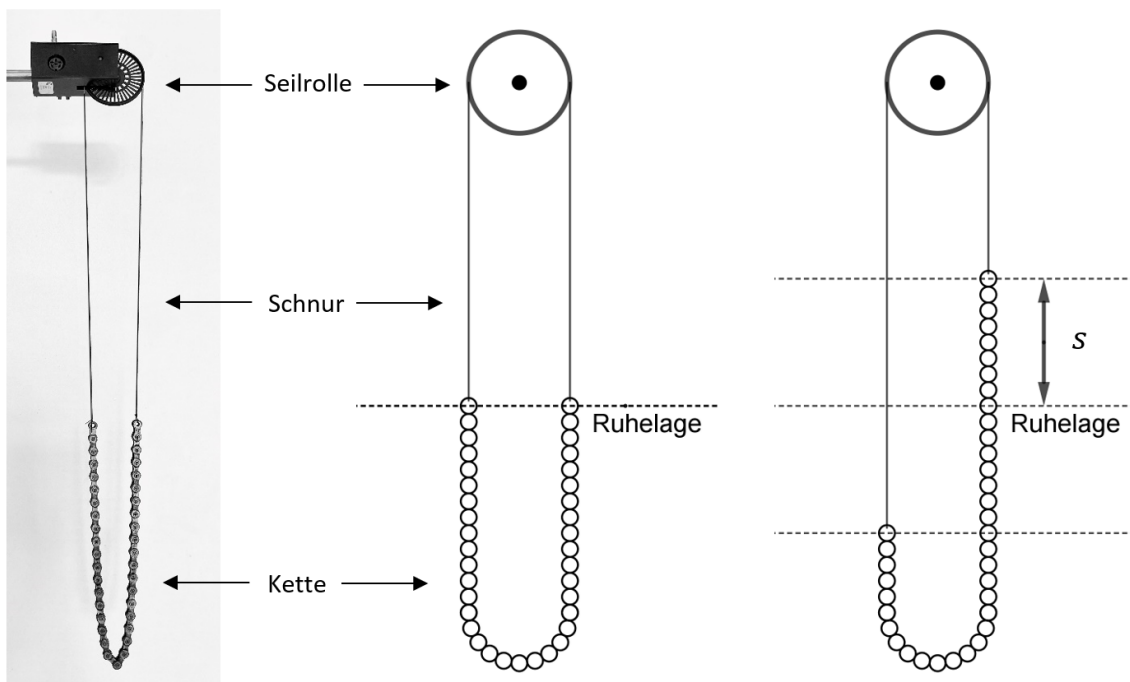
Schirmabstand $e = (3,85 \pm 0,03)$ m. Zur besseren Ablesbarkeit wurde das Foto des Schirmbilds bearbeitet. Verwenden Sie den abgedruckten Maßstab. Das Lineal zeigt Werte in der Einheit cm. Das Maximum 0. Ordnung liegt bei 10,0 cm.



M1d: Ausschnitt aus dem Schirmbild bei Beleuchtung eines Dreifachspalts mit Laserlicht (Schirmabstand wie in M1c) und Vorlage für das zu skizzierende Schirmbild (vgl. 1.3)

Die Bildbearbeitung erfolgte in gleicher Weise wie in M1c.

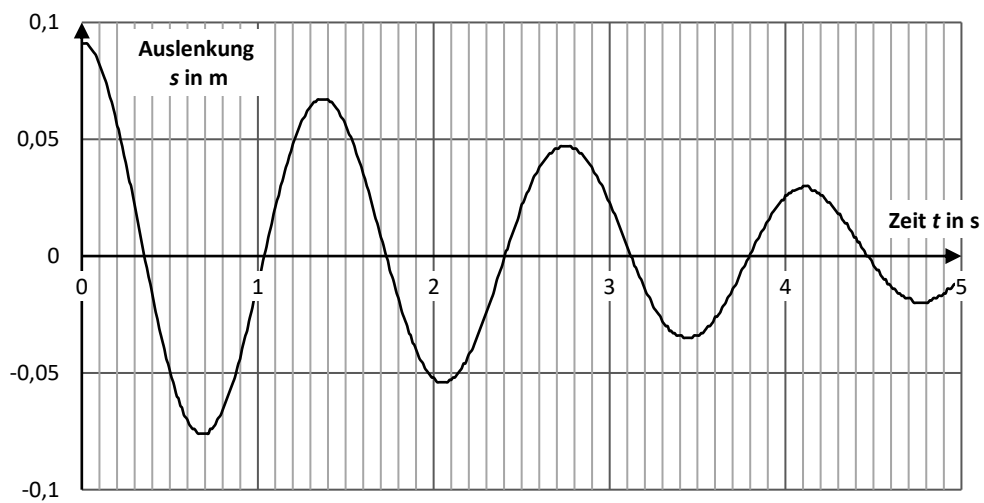
Das Lineal zeigt Werte in der Einheit cm. Das Maximum 0. Ordnung liegt bei 10,0 cm.



M2a:
Foto des Versuchsaufbaus

M2b:
Kette im Ruhezustand

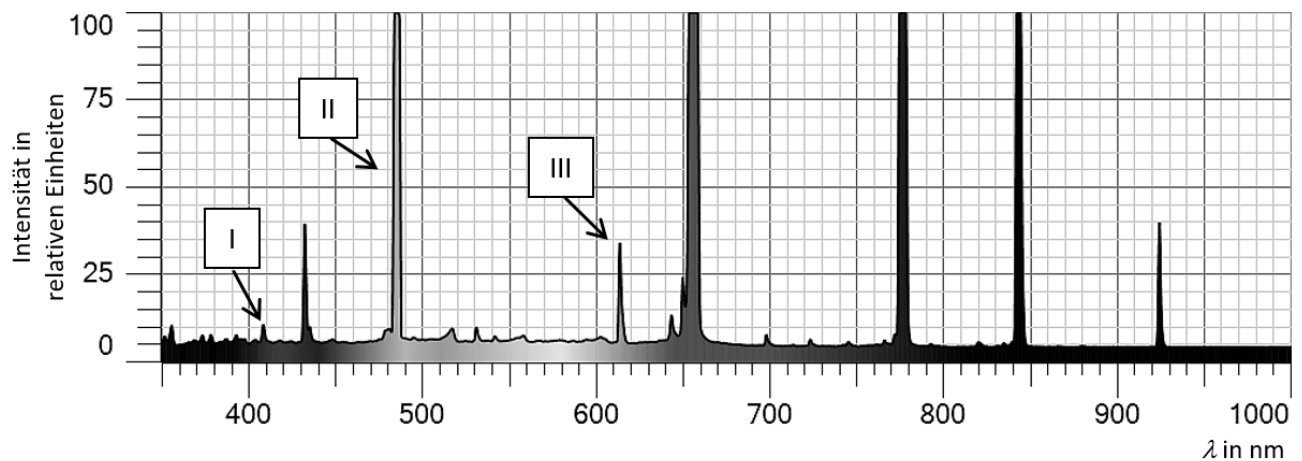
M2c:
Kette im ausgelenkten Zustand



M2d: Zeitlicher Verlauf einer Kettenschwingung bei einer Kettenlänge $l = 94,5 \text{ cm}$
Trotz Dämpfung wird die Schwingung idealisiert als harmonisch betrachtet.

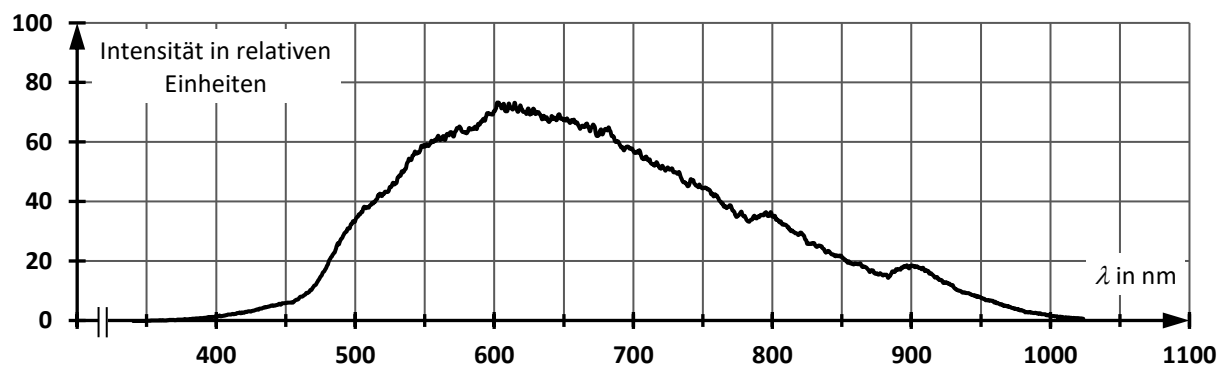
l in m	0,183	0,335	0,488	0,640	0,793	0,945	1,098	1,250
T in s	0,61	0,83	0,98	1,13	1,27		1,48	1,57

M2e: Periodendauer T in Abhängigkeit von der Kettenlänge l



M3a: Spektrum der Balmer-Lampe

Aufgetragen ist die Intensität in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Das Spektrum enthält durch bestimmte Effekte über die Balmer-Serie hinausgehende Spektrallinien.



M3b: Spektrum einer Glühlampe

Hilfsmittel

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