

Übungsaufgaben zur Klausurvorbereitung

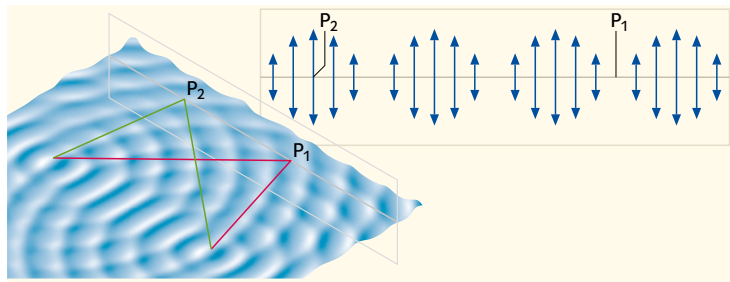
Lösungen der Aufgaben

Interferenz

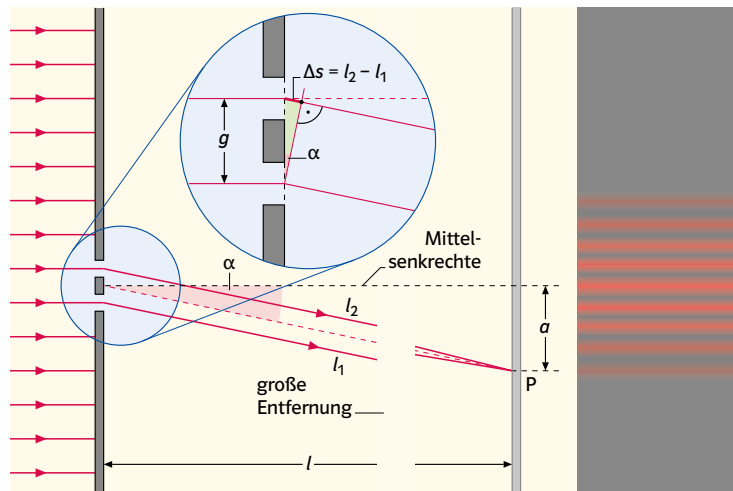
Seite 188 A1 [○ UF | K] **a)** Man kann Stellen beobachten, an denen keine Schwingungsbewegung der Wasseroberfläche stattfindet und Stellen, an denen die Wasseroberfläche heftige Schwingungen ausführt.

Die Stellen ohne Schwingungsbewegung kommen dadurch zustande, dass die beiden Wellen gegenphasig zueinander schwingen und sich bei gleicher Amplitude auslöschen. Die Stellen mit heftigen Schwingungsbewegungen kommen durch gleichphasige Überlagerung zustande.

b) Wenn eine gerade Welle auf ein Hindernis mit zwei kleinen Öffnungen trifft, dann entsteht hinter jeder dieser Öffnungen eine kreisförmige Welle mit derselben Wellenlänge, wie sie die einfallende Welle besitzt. Die beiden kreisförmigen Wellen breiten sich aus und überlagern sich dann, es kommt zur Interferenz. Dadurch entsteht ein Muster aus Schwingungsmaxima und Schwingungsminima. Dieses Interferenzmuster gleicht dem, das die beiden periodisch eintauchenden Erreger erzeugen.



A2 [☉ UF] **a)** Durch jeden der beiden Spalte fällt Licht, das dann zur Interferenz kommt. Maximale Verstärkung tritt auf, wenn der Gangunterschied Δs ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge ist. Es gilt nach der Abbildung $\sin \alpha_k = \Delta s / g$ mit $\Delta s = k \cdot \lambda$ ($k = 0, 1, 2, \dots$)



Für kleine Winkel ist $\sin \alpha_k \approx \tan \alpha_k = \frac{\alpha_k}{l}$ und damit $k \cdot \frac{\lambda}{g} = \frac{\alpha_k}{l}$

Dies ist die Bedingung für Interferenzmaxima.

b) Allgemein gilt für Interferenzmaxima:

$$k \cdot \frac{\lambda}{g} = \frac{a_k}{l}$$

Da es sich um benachbarte Streifen handelt, kann man $k = 1$ setzen und erhält:

$$g = \lambda \cdot \frac{l}{\Delta a} \quad \text{wobei } \Delta a \text{ der Abstand zwischen dem Maximum 0. und 1. Ordnung ist.}$$

$$g = 500 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot \frac{0,5 \text{ m}}{4 \cdot 10^{-3} \text{ m}}$$

$$g = 62,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Der Abstand der beiden Spalte voneinander beträgt 0,063 mm.

c) Aus $k \cdot \frac{\lambda}{g} = \frac{a_k}{l}$ folgt für $k = 1$ bei Umstellung nach g :

$$g = \lambda \cdot \frac{l}{a_1}$$

Anstelle von a_1 kann man auch Δa einsetzen, dies ist der Abstand zwischen den Maxima 0. und 1. Ordnung.

$$g = 800 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot \frac{0,5 \text{ m}}{4 \cdot 10^{-3} \text{ m}}$$

$$g = 100 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Damit der Streifenabstand gleich bleibt, muss bei einer Wellenlänge von $\lambda = 800 \text{ nm}$ der Spaltabstand $g = 0,1 \text{ mm}$ betragen.

d) Aus $k \cdot \frac{\lambda}{g} = \frac{a_k}{l}$ folgt für $k = 1$ bei Umstellung nach λ :

$$\lambda = g \cdot \frac{a_1}{l}$$

$$\lambda = \frac{7,5 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{0,5 \text{ m}}$$

$$\lambda = 60 \cdot 10^{-8} \text{ m}$$

Die Wellenlänge beträgt 600 nm.

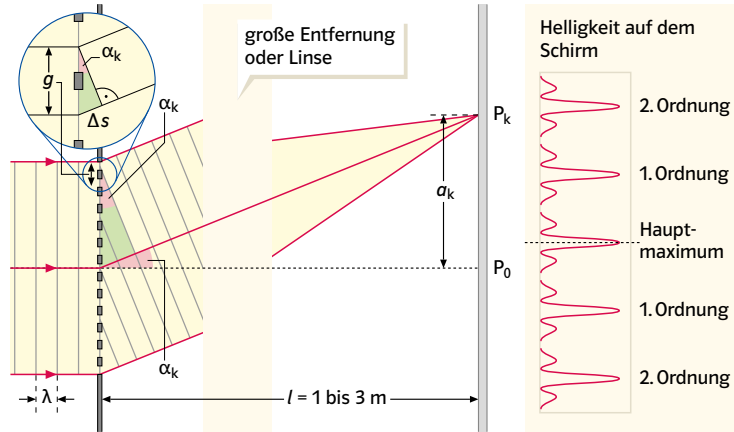
A3 [☉ UFIK] **a)** Bei längerer Belichtungszeit erkennt man in Versuch 1 auf der Fotoschicht hinter dem Doppelspalt das Interferenzmuster eines Doppelspalt. Dazu passen die im Versuch ermittelten Zählraten: Große Zählraten im Maximum, keine Zählrate in den Minima. Dieses Interferenzmuster kann man im klassischen Wellenmodell erklären.

b) Geht man von dem klassischen Wellenmodell aus, dann muss man annehmen, dass eine kontinuierlich zusammenhängende Wellenfront auf die Fotoschicht bzw. die Sensorfläche trifft. Versuch 1: Woher kommen aber dann die Treffer auf der Fotoschicht? Liegt das an der Grobkörnigkeit des Films? Wenn das so ist, warum wird die Schicht dann aber fast vollständig schwarz? Ist es vorstellbar, dass eine kontinuierliche Wellenfront nur an bestimmten Stellen diskontinuierlich mit der Fotoschicht reagiert? Liegt es daran, dass unterschiedliche Stellen der Fotoschicht unterschiedlich empfindlich sind?

Versuch 2: Warum sprechen bei reduzierter Lichtintensität immer nur einzelne Sensoren an völlig unterschiedlichen Stellen an? Warum sprechen Sensoren auch bei einer extrem geringen Lichtintensität in immer gleicher Stärke an? Warum führt die Reduktion der Lichtintensität dazu, dass die Sensoren nur seltener ansprechen?

c) Das stochastische Treffermuster passt zum klassischen Teilchenmodell. Allerdings kann man das Interferenzmuster mit dem klassischen Teilchenbild nicht erklären, denn die Stellen, an denen keine Treffer festzustellen sind, erklärt man im klassischen Wellenmodell mit der Phasendifferenz von π zwischen den beiden Elementarwellen. Eine passende anschauliche Interferenzvorstellung gibt es im klassischen Teilchenbild nicht. Es ist gänzlich unverständlich, dass sich klassische Teilchen gegenseitig auslöschen sollen.

A4 [● UF] a) Für den Wegunterschied Δs gilt nach der Abbildung:



$$\Delta s = g \cdot \sin \alpha_k$$

Für Helligkeitsmaxima muss der Wegunterschied $\Delta s = k \cdot \lambda$ ($k = 1, 2, 3, \dots$) betragen. Damit erhält man

$$g \cdot \sin \alpha_k = k \cdot \lambda \quad \text{oder}$$

$$\sin \alpha_k = k \cdot \frac{\lambda}{g}$$

b) Die Bedingung für die Zahl der auftretenden Maxima ist, dass der Winkel $\alpha_k < 90^\circ$ bzw. $\sin \alpha_k < 1$ sein muss. Mit

$$\sin \alpha_k = k \cdot \frac{\lambda}{g} \quad \text{ergibt sich}$$

$$k \cdot \frac{\lambda}{g} < 1 \quad \text{oder}$$

$$k < \frac{g}{\lambda}$$

$$k < \frac{4,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}}{630 \cdot 10^{-9} \text{ m}}$$

$$k < 6,7$$

Es entstehen 13 Maxima, eines in der Mitte und 6 auf jeder Seite.

c) Diese Maxima sind wegen der begrenzten Schirmbreite nicht alle zu beobachten. Die maximale Anzahl k_{max} ergibt sich aus der Entfernung zwischen Gitter und Schirm sowie aus der Breite L des Schirmes:

$$\tan \alpha_{\text{max}} = \frac{L}{l}$$

$$\tan \alpha_{\text{max}} = \frac{10 \text{ cm}}{8 \text{ cm}}$$

$$\alpha_{\text{max}} = 51,34^\circ$$

$$\text{Aus } \sin \alpha_{\text{max}} = k_{\text{max}} \cdot \frac{\lambda}{g} \quad \text{ergibt sich}$$

$$k_{\text{max}} = \sin \alpha_{\text{max}} \cdot \frac{g}{\lambda}$$

$$k_{\text{max}} = \sin 51,34^\circ \cdot \frac{4,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}}{630 \cdot 10^{-9} \text{ m}}$$

$$k_{\text{max}} = 5,2$$

Auf den Schirm fallen neben dem Maximum 0. Ordnung die Maxima 1. bis 5. Ordnung. Es lassen sich insgesamt 11 Helligkeitsmaxima auf dem Schirm registrieren. Wegen des Helligkeitsabfalls sind die äußeren Maxima in der Regel nicht mehr zu beobachten.

Seite 188 d) Die jeweilige Wellenlänge ergibt sich aus

$$\sin \alpha_k = k \cdot \frac{\lambda}{g} \text{ zu}$$

$$\lambda = \sin \alpha_k \cdot \frac{g}{k}$$

Für das Maximum 1. Ordnung ist $k = 1$. α_k erhält man aus

$$\tan \alpha_k = \frac{a}{l}$$

Damit erhält man folgende Wellenlängen:

$$\text{Blaues Licht:} \quad \tan \alpha_k = \frac{1,7 \text{ cm}}{8 \text{ cm}} = 0,10625$$

$$\alpha_k = 6,0649^\circ$$

$$\lambda = \sin 6,1^\circ \cdot 4,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$\lambda = 444 \text{ nm}$$

$$\text{Grünes Licht:} \quad \lambda = 546 \text{ nm}$$

$$\text{Gelbes Licht:} \quad \lambda = 597 \text{ nm}$$

Die Frequenzen ergeben sich aus $f = \frac{c}{\lambda}$:

$$\text{Blaues Licht:} \quad f = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{444 \cdot 10^{-9} \text{ m}}$$

$$f = 6,76 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\text{Grünes Licht:} \quad f = 5,49 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\text{Gelbes Licht:} \quad \lambda = 5,03 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

e) Zusammenfallen der Maxima von gelbem und blauem Licht bedeutet, dass

$$\sin \alpha_{k, \text{gelb}} = \sin \alpha_{k+1, \text{blau}}$$

Mit $\sin \alpha_k = k \cdot \frac{\lambda}{g}$ kann man daraus k berechnen:

$$k \cdot \frac{\lambda_{\text{gelb}}}{g} = (k+1) \cdot \frac{\lambda_{\text{blau}}}{g}$$

$$k \cdot \lambda_{\text{gelb}} - k \cdot \lambda_{\text{blau}} = \lambda_{\text{blau}}$$

$$k = \frac{\lambda_{\text{blau}}}{\lambda_{\text{gelb}} - \lambda_{\text{blau}}}$$

$$k = \frac{444 \text{ nm}}{597 \text{ nm} - 444 \text{ nm}}$$

$$k = 2,9$$

Das gelbe Maximum 3. Ordnung fällt mit dem blauen Maximum 4. Ordnung zusammen.

Hinweis: Die Ungenauigkeiten liegen im Wesen physikalischer Messungen begründet.

f) Es gilt näherungsweise

$$3 \cdot \lambda_{\text{gelb}} = 4 \cdot \lambda_{\text{blau}}$$

Diese Beziehung enthält keine Parameter, die der Versuchsanordnung zugeordnet werden könnten. Diese Tatsache ist naturgegeben und führt zur Überdeckung der Linien. Sie kann durch keinerlei Veränderung der Versuchsanordnung vermieden werden.

Fotoeffekt

A5 [○ UF] K Eine Zinkplatte mit frisch polierter Oberfläche wird auf einem Elektroskop befestigt und negativ aufgeladen. Beleuchtet man diese Zinkplatte nun mit dem Licht einer Quecksilberdampfampe, so geht der Ausschlag am Elektroskop zurück. Bringt man zwischen die Lampe und die Zinkplatte eine Glasscheibe, die UV-Licht absorbiert, dann bleibt die Ladung erhalten.

Nach dem Wellenmodell des Lichtes ist eine höhere Lichtintensität mit einer größeren Amplitude verbunden. Legt man die klassische Vorstellung zugrunde, so sollten die Elektronen im Material umso stärker zu Schwingungen angeregt werden, je größer die Amplitude des auftreffenden Lichtes ist. Entsprechend sollten sich die Elektronen mit zunehmender Lichtintensität leichter aus dem Material herauslösen lassen. Dies beobachtet man jedoch im Versuch nicht. Der Hallwachs-Versuch zeigt also, dass das klassische Wellenmodell, mit dem sich das Verhalten von Licht in einigen Bereichen sehr gut erklären lässt, seine Grenzen hat.

- A6** [● UF|K] **a)** Wenn sich Elektronen von der Kathode ablösen, bildet sich eine Elektronenwolke, die zur negativen Aufladung des Anodenrings führt. Die Kathodenschicht wird durch die Ablösung der negativ geladenen Elektronen positiv aufgeladen.
- b)** Mit der negativen Aufladung des Anodenrings und der positiven Aufladung der Kathodenschicht bildet sich zwischen diesen ein elektrisches Feld. Ab einer bestimmten Feldstärke ist die Bewegungsenergie der von der Kathodenschicht abgelösten Elektronen nicht mehr groß genug, um den Anodenring zu erreichen.
- c)** Die Bewegungsenergie der aus der Kathodenschicht freigesetzten Elektronen soll im Grenzfall gerade ausreichen, um den Anodenring zu erreichen. Für diesen Grenzfall gilt:

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = e \cdot U$$

$$U = \frac{m \cdot v^2}{2e}$$

- d)** Legt man die klassische Wellenvorstellung zugrunde, müsste man erwarten, dass eine höhere Lichtintensität dazu führt, dass die Elektronen bei ihrer Ablösung eine höhere kinetische Energie bekommen und dem unter c) genannten Ansatz entsprechend eine höhere Fotospannung erzeugen. Bei extremer Abdunkelung der Lampe geht die Intensität dieser Lampen gegen null, also geht – klassisch betrachtet – die Amplitude der elektromagnetischen Welle ebenfalls gegen null. Man erwartet keinen merklichen Energieübertrag an die Elektronen und die Fotospannung sollte gegen 0 gehen.

- A7** [⊖ UF|K] **a)** Die Energie der Photonen kann folgendermaßen berechnet werden:

Aus $E = h \cdot f$ und $f = \frac{c}{\lambda}$ folgt:

$$E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

$$E = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{540 \cdot 10^{-9} \text{ m}}$$

$$E = 3,7 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E = 2,30 \text{ eV}$$

Die kinetische Energie der Elektronen ergibt sich unmittelbar aus der Gegenspannung U und der Elementarladung e , da gilt:

$$E_{\text{kin}} = e \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$$E_{\text{kin}} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 0,34 \text{ V}$$

$$E_{\text{kin}} = 0,34 \text{ eV}$$

Um eine Vermutung über das Kathodenmaterial aussprechen zu können, wird die Austrittsarbeit E_A berechnet. Aus der Einstein'schen Gleichung

$h \cdot f = E_A + E_{\text{kin}}$ folgt:

$$E_A = h \cdot f - E_{\text{kin}}$$

$$E_A = 2,30 \text{ eV} - 0,34 \text{ eV}$$

$$E_A = 1,96 \text{ eV}$$

Die Grenzfrequenz ist diejenige Frequenz der einfallenden Strahlung, bei der gerade noch Elektronen aus der Kathode austreten. Für diese Elektronen ist $E_{\text{kin}} = 0$. Die Einstein'sche Gleichung $h \cdot f = E_A + E_{\text{kin}}$ vereinfacht sich damit zu $h \cdot f_G = E_A$ oder

$$f_G = \frac{E_A}{h}$$

$$f_G = \frac{1,96 \text{ eV}}{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}$$

$$f_G = \frac{1,96 \text{ V} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}$$

$$f_G = 4,74 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Die Energie der Photonen beträgt 2,3 eV und die kinetische Energie der Elektronen 0,34 eV. Als Austrittsarbeit für die Elektronen ergibt sich daraus 1,96 eV. Die Grenzfrequenz hat einen Wert von $f_G = 4,74 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$.

Bei der Austrittsarbeit von $E_A = 1,96 \text{ eV}$ könnte es sich Caesium handeln, der Tabellenwert für eine Kathode aus Caesium beträgt 1,94 eV.

b) Aus $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ folgt:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{\text{kin}}}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,34 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}}$$

$$v = 3,46 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Die Elektronen verlassen die Kathode mit einer Geschwindigkeit von etwa $3,5 \cdot 10^5 \text{ m/s}$.

c) Ein Herauslösen von Elektronen aus der Kathode erfolgt nur dann, wenn das Licht, mit dem die Kathode bestrahlt wird, eine Frequenz besitzt, die mindestens gleich der Grenzfrequenz ist, die dem Kathodenmaterial zuzuordnen ist.

Mit $\lambda = 720 \text{ nm}$ und $f = \frac{c}{\lambda}$ ergibt sich als Frequenz des betreffenden Lichtes:

$$f = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{720 \cdot 10^{-9} \text{ m}}$$

$$f = 4,2 \cdot 10^{14} \frac{1}{\text{s}} = 4,2 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Da $f < f_G$ werden bei dieser Strahlung keine Elektronen aus der Kathode herausgelöst.

d) Aus $h \cdot f_x = E_A + E_{\text{kin},x}$ und $E_{\text{kin},x} = 2 E_{\text{kin}}$ folgt:

$$h \cdot f_x = E_A + 2 E_{\text{kin}}$$

Mit $f_x = \frac{c}{\lambda_x}$ erhält man

$$h \cdot \frac{c}{\lambda_x} = E_A + 2 E_{\text{kin}} \text{ und durch Umstellen nach } \lambda_x$$

$$\lambda_x = h \cdot \frac{c}{E_A + 2 E_{\text{kin}}}$$

$$\lambda_x = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,96 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J} + 2 \cdot 0,34 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}}$$

$$\lambda_x = 470 \text{ nm}$$

Eine Lichtstrahlung der Wellenlänge 470 nm würde eine Verdopplung der kinetischen Energie der Elektronen im Vergleich zu Bestrahlung mit Licht der Wellenlänge von 540 nm bewirken.

A8 [☉ UFK] a) Bei Beleuchtung mit Licht gleicher Intensität, aber höherer Frequenz erhalten die einzelnen Elektronen größere kinetische Energie. Da bei größerer Frequenz die Energie $h \cdot f$ des Photons größer ist, wird dem Elektron ein größerer Energiebetrag übertragen. Der Betrag der Austrittsarbeit bleibt gleich, folglich erhöht sich die kinetische Energie der herausgelösten Elektronen.

b) Bei höherer Intensität, aber gleicher Frequenz, nimmt die Anzahl der herausgelösten Elektronen und damit die Stromstärke zu. Die kinetische Energie der Fotoelektronen ändert sich nicht.

Höhere Intensitäten bedeuten eine größere Anzahl von Photonen. Durch mehr Photonen werden mehr Elektronen aus der Kathode herausgelöst.

c) Die kinetische Energie der Elektronen ergibt sich unmittelbar aus der Definition der Einheit Elektronenvolt, die Frequenz kann nach $f = c/\lambda$ berechnet werden. Man erhält:

$$\text{für } \lambda = 435 \text{ nm} \quad f = 6,9 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\text{für } \lambda = 510 \text{ nm} \quad f = 5,9 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\text{für } \lambda = 590 \text{ nm} \quad f = 5,1 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Damit hat man für die Frequenz f und die kinetische Energie E_{kin} der Fotoelektronen folgende Werte:

f in 10^{14} Hz	6,9	5,9	5,1
E_{kin} in eV	0,92	0,51	0,15

Man erhält folgendes Diagramm:



d) Die Ablösearbeit beträgt etwa 1,9 eV. Das verwendete Kathodenmaterial könnte Caesium sein. Der Tabellenwert für Caesium beträgt etwa 1,94 eV

e) Die Grenzfrequenz beträgt etwa $4,7 \cdot 10^{14}$ Hz

f) Das Planck'sche Wirkungsquantum ergibt sich als Anstieg der Geraden aus Teilaufgabe c):

$$h = \frac{\Delta E_{\text{kin}}}{\Delta f}$$

Für die Berechnung können beliebige Werte ausgewählt werden, z. B. $f_1 = 8 \cdot 10^{14}$ Hz und

$$f_2 = 4,7 \cdot 10^{14} \text{ Hz (Grenzfrequenz)}$$

$$h = \frac{1,3 \text{ eV}}{8 - 4,7} \cdot 10^{14} \frac{1}{\text{s}}$$

$$h = 6,3 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Aus den experimentellen Werten ergibt sich das Planck'sche Wirkungsquantum zu $6,3 \cdot 10^{-34}$ Js. Der Tabellenwert beträgt $6,626 \cdot 10^{-34}$ Js.

A9 [UF|K] a) Elektronen können im Vakuum entweder durch den glühelektrischen oder den lichtelektrischen Effekt erzeugt werden.

Glühelektrischer Effekt: In einem evakuierten Glaskolben befindet sich eine Drahtwendel, die durch eine Stromquelle erhitzt wird. Diese Drahtwendel sendet Elektronen aus, während die positiven Ladungsträger im Draht gebunden sind.

Lichtelektrischer Effekt: Auch durch Bestrahlen einer negativ geladenen Metallplatte kann man ab einer bestimmten Energie Elektronen aus der Metalloberfläche lösen.

b) Tritt ein Elektron parallel zu den Feldlinien in ein elektrisches Feld ein, so hängt es davon ab, ob es in Richtung der Feldlinien oder entgegengesetzt zur Richtung der Feldlinien eintritt. Tritt es in Richtung der Feldlinien ein, so wird es abgebremst und kehrt um zur positiven Platte, wenn

seine kinetische Energie aufgebraucht ist. Tritt es hingegen entgegengesetzt zur Richtung der Feldlinien ein, so wird es beschleunigt.

c) Tritt ein Elektron senkrecht zu den Feldlinien mit einer bestimmten Anfangsgeschwindigkeit ein, so bewegt es sich auf einer Parabelbahn, ähnlich der Bewegung beim waagerechten Wurf, in Richtung der positiven Platte.

d) In x -Richtung findet eine gleichförmige Bewegung statt: $v_x = v_0 = \frac{l}{t}$ bzw. $t = \frac{l}{v_x}$

In y -Richtung findet eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung statt:

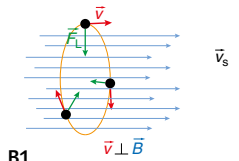
$$v_y = a \cdot t \text{ bzw. } y = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{F}{m} \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{E \cdot e}{m} \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{U}{d} \cdot \frac{e}{m} \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{U}{d} \cdot \frac{e}{m} \cdot \frac{l^2}{v_x^2}$$

$$l^2 = 2y \cdot \frac{m}{e} \cdot \frac{d}{U} \cdot v_0^2 = 2 \cdot 0,004 \text{ m} \cdot \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}} \cdot \frac{0,01 \text{ m}}{50 \text{ V}} \cdot \left(1 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 9,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$l = 0,03 \text{ m} = 3 \text{ cm.}$$

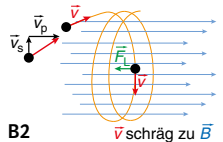
Magnetisches Feld

A10 [⊙ UF | K] a) Die Lorentzkraft wirkt immer senkrecht zur Bewegungsrichtung der Elektronen, d.h., sie ändert nur die Richtung der Elektronen, aber nicht ihre Geschwindigkeit. Somit ist sie eine Zentripetalkraft und zwingt die Elektronen auf eine Kreisbahn (→ B1).



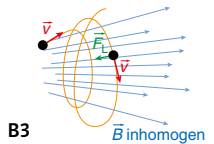
B1

b) Treten die Elektronen schräg zum Magnetfeld ein, so bewegen sie sich auf einer Schraubenbahn. Der Geschwindigkeitsvektor v zerlegt in eine senkrechte Komponente \vec{v}_s und eine parallele Komponente \vec{v}_p . Die Komponente \vec{v}_s zwingt die Elektronen auf die Kreisbahn und \vec{v}_p zieht die Kreisbahn auseinander (→ B2).



B2

c) Treten die Elektronen schräg in ein inhomogenes Magnetfeld ein, so bewegen sie sich auf einer Schraubenbahn mit wachsendem Radius (→ B3).



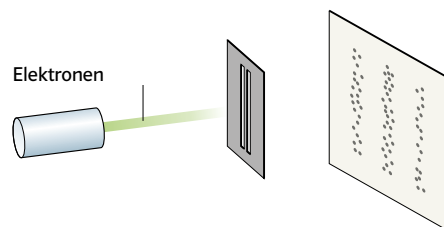
B3

d) Aus $F_L = e \cdot B \cdot v = m \cdot \frac{v^2}{r} = F_Z$ und $v = \sqrt{2 \cdot U \cdot \frac{e}{m}}$ folgt:

$$r = \sqrt{\frac{2 \cdot U \cdot B}{b^2 \cdot \frac{e}{m}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 200 \text{ V}}{(0,75 \cdot 10^{-3} \text{ T})^2 \cdot 1,7588 \cdot 10^{11} \frac{\text{kg}}{\text{C}}}} = 0,064 \text{ m} = 6,4 \text{ cm}$$

Quantenobjekte

A11 [⊙ UF | K] a)



b) Für kleine Winkel gilt $\sin \alpha \approx \tan \alpha$. Sei a der Streifenabstand auf dem Schirm, so gilt:

$$a = \lambda \cdot \frac{l}{g}$$

$$a = \frac{5,3 \cdot 10^{-12} \text{ m} \cdot 0,35 \text{ m}}{2,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}}$$

$$a = 0,93 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

c) Bei den Elektronen handelt es sich um Mikroobjekte, die weder mit einer Wellen- noch mit einer Teilchenvorstellung richtig beschreiben werden können.

d) Aus der de-Broglie-Wellenlänge folgt:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$$\lambda = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{0,02 \text{ kg} \cdot 1000 \text{ m}} = 3,3 \cdot 10^{-35} \text{ m}$$

Mit den Bezeichnungen aus a) erhält man für den Streifenabstand:

$$a = \lambda \cdot \frac{l}{g}$$

$$a = 3,3 \cdot 10^{-35} \text{ m} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ m}}$$

$$a = 3,3 \cdot 10^{-32} \text{ m}$$

Der Abstand der Streifen beträgt $a = 3,3 \cdot 10^{-32} \text{ m}$.

A12 [☉ UF | K] Photonen lassen sich durch Polarisationsfilter markieren, nach Durchgang durch ein solches Filter sind sie parallel zum Filter polarisiert.

a) Interferenz ist nur beobachtbar, wenn nicht entschieden werden kann, durch welchen Spalt ein Photon kommt. Das ist der Fall, wenn beide Filter parallel stehen. Wenn sie senkrecht zueinander stehen, kann mit einem weiteren Filter festgestellt werden, durch welchen Spalt ein Photon gekommen ist. Dann gibt es kein Interferenzmuster.

b) Stehen beide Polfilter senkrecht zueinander, dann gibt es kein Interferenzmuster. Ein drittes Filter, das mit jedem der Filter auf den Spalten einen Winkel von 45° bildet, lässt einen Teil der Photonen durch, alle sind dann nach diesem Filter gleich polarisiert. Die Information, durch welchen Spalt das jeweilige Photon gekommen ist, wurde ausgelöscht. Interferenz wird wieder beobachtbar.

Elektromagnetische Induktion

A13 [☉ UF | K]

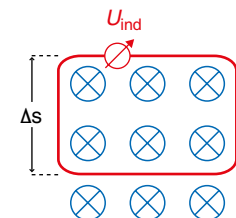
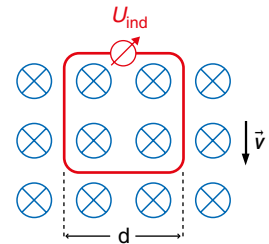
Fall 1

a) Ändern der von den Feldlinien durchsetzten Fläche:

- Eine Leiterschleife wird im Magnetfeld gedreht oder verformt.
- Eine Leiterschleife wird in ein Magnetfeld hineingezogen bzw. herausgezogen.

b) Ändern des Magnetfeldes bei konstanter Spulenfläche:

- Ein- und Ausschalten eines Elektromagneten, der sich in der Spule befindet.
- Verschieben eines Eisenkerns in einer Spule.



Fall 2

Bewegt man eine Leiterschleife ($n = 1$) mit konstanter Geschwindigkeit v in ein Magnetfeld hinein, so ändert sich das Magnetfeld in der von der Leiterschleife begrenzten Fläche A . An ihren Enden wird eine Spannung induziert (\rightarrow B1).

$$U_{\text{ind}} = B \cdot d \cdot v = B \cdot d \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Das Produkt $d \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t}$ ist dabei die sich zeitlich ändernde Fläche A_s , die senkrecht vom Magnetfeld durchsetzt wird (\rightarrow B2).

Somit erhält man $U_{\text{ind}} = B \cdot \frac{\Delta A_s}{\Delta t}$ bzw. bei mehreren Windungen

$$U_{\text{ind}} = n \cdot B \cdot \frac{\Delta A_s}{\Delta t}$$

A14 [☉ UF | K] a) Für den Transformator gilt:

$$\frac{U_{1,\text{eff}}}{U_{2,\text{eff}}} = \frac{n_1}{n_2}$$

Aufgelöst nach $U_{2,\text{eff}}$ folgt:

$$U_{2,\text{eff}} = \frac{n_2}{n_1} \cdot U_{1,\text{eff}} = \frac{300}{1200} \cdot 220\text{V} = 55\text{V}$$

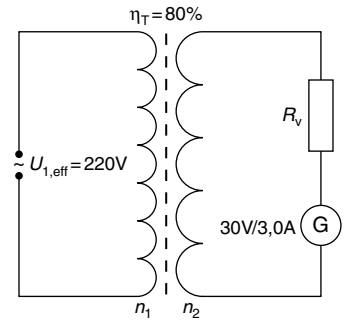
b) Da die Windungszahl der Sekundärspule nicht verändert werden kann, muss man auf der Sekundärseite einen Vorwiderstand in die Schaltung einbauen.

Am Vorwiderstand müssen $55\text{V} - 30\text{V} = 25\text{V}$ abfallen. Da es sich um eine Reihenschaltung von Vorwiderstand und Gerät G handelt, beträgt die Stromstärke am Vorwiderstand auch 3 A.

$$\text{Es gilt: } R_V = \frac{25\text{V}}{3\text{A}} = 8,3\Omega$$

c) Für den Wirkungsgrad gilt: $\eta_T = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_{2,\text{eff}} \cdot I_2}{U_{1,\text{eff}} \cdot I_1}$

$$\text{Aufgelöst nach } I_1 \text{ folgt: } I_1 = \frac{U_{2,\text{eff}} \cdot I_2}{U_{1,\text{eff}} \cdot \eta_T} = \frac{55\text{V} \cdot 3\text{A}}{220\text{V} \cdot 0,8} = 0,94\text{A}$$



Seite 191 Atomphysik

A15 [☉ UF | K] a) Rutherford schoss ein schmales Bündel α -Teilchen (das sind Heliumkerne) auf eine dünne Goldfolie. Er stellte fest:

- Fast alle α -Teilchen durchdringen die Goldfolie ohne Ablenkung.
- Wenige α -Teilchen wurden abgelenkt. Vereinzelt kam es zu einer Streuung um 180° .
- Durch die Ablenkung verlieren die α -Teilchen kaum Energie.

Die Masse m_α eines α -Teilchens ist sehr viel größer als die Masse m_e eines Elektrons. Eine Streuung an Elektronen konnte er so ausschließen. Rutherford führte die beobachteten Phänomene auf Coulomb-Kräfte zwischen einem positiv geladenen Kern und einem α -Teilchen zurück.

Rutherford'sches Atommodell: Die Masse und die positive Ladung eines Atoms sind in einem kleinen Raumbereich, dem Atomkern, konzentriert. Die Elektronen bilden die viel größere Atomhülle.

b) Nähert sich ein α -Teilchen dem Kern, dann wird seine kinetische Energie in potenzielle Energie umgesetzt. Gilt $E_{\text{kin}} = E_{\text{pot}}$, dann ist der geringste Abstand erreicht.

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{79e \cdot 2e}{r} \Leftrightarrow r = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{79e \cdot 2e}{E_{\text{kin}}} \Rightarrow r = \frac{158 \cdot e^2}{4 \cdot \pi \cdot 8,6 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}}{\text{Vm}} \cdot 8,0 \cdot 10^6 \text{eV}}$$

$$\approx 2,9 \cdot 10^{-14} \text{m}$$

Der Kerndurchmesser ist kleiner als $2,9 \cdot 10^{-14} \text{m}$.

A16 [☉ UF | K] a) $f_R = \frac{f}{\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{m^2}\right)} = \frac{c}{\lambda \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{m^2}\right)}$

	Farbe			
	rot	grün	blau	violett
	$m = 3$	$m = 4$	$m = 5$	$m = 6$
Wellenlänge	655 nm	490 nm	435 nm	410 nm
f_R	$3,30 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$	$3,26 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$	$3,28 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$	$3,29 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$

$$\text{Mittelwert: } f_R = 3,28 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

b) Die Frequenzen gehören zu Übergängen von der m -ten Energiestufe zur zweiten Energiestufe.

$$h \cdot f = 13,6 \text{ eV} \cdot \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{m^2} \right) \Rightarrow f_R = \frac{13,6 \text{ eV}}{h} = \frac{13,6 \text{ eV}}{4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}} = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

Gute Übereinstimmung mit dem experimentellen Wert.

Kernphysik

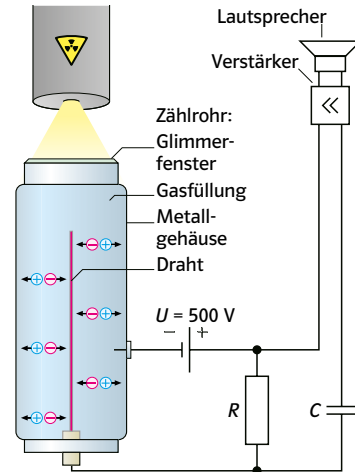
A17 [○ UF|K] a) Die Strahlung ionisiert zunächst einige Atome des Edelgases. Die Elektronen werden zum Draht beschleunigt. Ihre Energie nimmt schnell zu. Sie können weitere Atome ionisieren. Die Anzahl der Ladungsträger wächst lawinenartig an. Die Folge ist ein Stromstoß und damit ein Spannungsimpuls am Widerstand. Da die Ionen wesentlich träger sind, entsteht um den Draht ein Bereich mit positiver Ladung. Das von außen angelegte elektrische Feld wird abgeschirmt. Für eine kurze Zeit (Totzeit) wird die lawinenartige Ladungserzeugung gestoppt.

b) In der Kammer befindet sich Luft, die bis zur Sättigung mit Wasser-Alkohol-Dampf gefüllt ist. Wird der Druck plötzlich (adiabatisch) verringert, kühlt sich die Luft ab. Die Ionen wirken als Kondensationskeime, um die sich Wassertröpfchen bilden.

- Dicke Spuren deuten auf α -Strahlung.
- Strahlung lässt sich durch Papier abschirmen.
- Kurze Reichweite der Strahlung.

c) Weitere Nachweisgeräte:

Ionisationskammer, Halbleiterdetektor, Szintillationszähler



A18 [○ UF|K] a)

Strahlungsarten	α -Strahlung	β -Strahlung	γ -Strahlung
Strahlung besteht aus	positiv geladenen Heliumkernen	Elektronen (β^-) bzw. Positronen (β^+)	energiereichen Photonen
Energie	3 MeV bis 11 MeV	bis etwa 3 MeV	0,001 MeV bis 10 MeV
Reichweite in Luft	einige Zentimeter	einige Meter	sehr groß
Abschirmung	durch ein Blatt Papier	durch dünnes Aluminiumblech	durch dicke Bleiplatten; vollständige Abschirmung nicht möglich

b) Ein Teil der Strahlung wird schwach abgelenkt. Die Ablenkungsrichtung zeigt, dass sie aus positiv geladenen Teilchen besteht. Es ist die α -Strahlung. Ein anderer Teil wird stark abgelenkt. Die Richtung deutet auf negativ geladene Körper hin. Es ist die β -Strahlung. Ein dritter Teil durchdringt das Magnetfeld ohne Richtungsänderung. Es ist die γ -Strahlung.

c) Die Tabelle gibt einen Überblick:

Zeit nach der Einwirkung	Vorgang im Körper und seine Folgen	
$10^{-16} \text{ s} - 10^{-8} \text{ s}$	Absorption der Strahlung	Durchgang der Strahlung Keine Wirkung
$10^{-8} \text{ s} - 10^{-5} \text{ s}$	Bildung aktiver Radikale aus H_2O	
Sekunden bis Stunden	molekulare Veränderungen	Mutationen somatisch genetisch
Stunden bis Tage	mikroskopisch sichtbare Schäden Zelltod	
Tage bis Jahre	Organschäden Tod des Individuums	Organkrebs
Jahrzehnte bis Jahrtausende		Erbkrankheit Sterilität Entstehung neuer Arten

A19 [UF|K] Die Punkte liegen mit guter Genauigkeit auf einer Geraden, d.h., die Messwerte genügen einem Exponentialgesetz $z(t) = z(0) \cdot e^{-\lambda \cdot t}$.

Mit dem Punkt $(350 \text{ s} / -1,6)$ erhält man die Steigung der Geraden $\ln(z/z_0) = m \cdot t$.

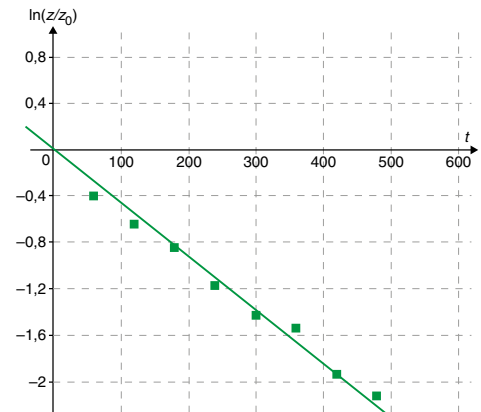
Es ist: $m = -0,0046 \text{ s}^{-1}$.

$$\Rightarrow \ln(z/z_0) = -0,0046 \text{ s}^{-1} \cdot t$$

$$\Rightarrow z(t) = 41 \frac{1}{\text{s}} \cdot e^{-0,0046 \frac{1}{\text{s}} \cdot t}$$

$$\Rightarrow \text{Zerfallskonstante } \lambda = 0,0046 \frac{1}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow \text{Halbwertszeit } T_{1/2} = \ln(2)/\lambda = 150 \text{ s}$$



b) Für die Aktivität $A(t)$ gilt:

$$\Rightarrow A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \Rightarrow t = -\frac{\ln(A(t)/A_0)}{\lambda} = -\frac{T_{1/2} \cdot \ln(A(t)/A_0)}{\ln(2)}$$

$$t = -\frac{270 \text{ d} \cdot \ln(0,8)}{\ln(2)} = 87 \text{ d.}$$

Relativitätstheorie

A20 [UF|K] **a)** Aus den Laborwerten $v = 0,75c$ und $s = 8,5 \text{ m}$ folgt die Lebensdauer im Laborsystem

$$t = \frac{8,5 \text{ m}}{0,75 \cdot c} = \frac{8,5 \text{ m}}{0,75 \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 3,8 \cdot 10^{-8} \text{ s}$$

Im Ruhesystem des Myons ergibt sich dann

$$t' = t \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = 3,8 \cdot 10^{-8} \text{ s} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{0,75c}{c}\right)^2} = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ s}$$

Seite 191 **b)** Die Messergebnisse $v = 0,8c$ und $s = 10\text{ m}$ sind Laborwerte. Die Streckenlänge im Ruhesystem des Elektrons ist dann

$$l' = l \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = 10\text{ m} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{0,8c}{c}\right)^2} = 6\text{ m}$$

c) Für die Stadtgeschwindigkeit gilt

$$v \approx 50 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}} \Rightarrow \frac{v}{c} = \frac{15}{3 \cdot 10^8} = 5 \cdot 10^{-8} \Rightarrow 1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2 = 1 - 25 \cdot 10^{-16} \approx 1 \Rightarrow t = t'$$

und $l = l'$. Es können keine relativistischen Effekte beobachtet werden.

Seite 203 Umgang mit Messfehlern

A1 [○ UF] $c = 10 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$; $U_2 = 304,0 \text{ mm} \pm 2,0 \text{ mm}$; $U_3 = 268,0 \text{ mm} \pm 2,0 \text{ mm}$

Seite 204 **A1** [● UF] Die benötigten Formeln sind:

Fläche einer Kondensatorplatte: $A = \pi \cdot r^2$;

Kapazität des Kondensators: $C = \frac{Q}{U}$ und $C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$.

Der Radius beträgt mit absoluter Messunsicherheit: $r = 10 \text{ cm} \pm 0,05 \text{ cm}$.

Eingesetzt erhält man die Formel für ϵ_0 zu: $\epsilon_0 = \frac{Q \cdot d}{U \cdot \pi \cdot r^2}$.

Für alle Werte benötigt man die relative Messunsicherheit, die dann jeweils addiert wird (für r zweimal). π wird als nicht fehlerbehaftet angesehen, da die Genauigkeit nur durch die Anzahl der Nachkommastellen des Taschenrechners beschränkt ist.

Ergebnis: $\epsilon_0 = 8,78535 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \pm 9,7\%$

bzw. $= 8,79 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \pm 0,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$ (Rundung auf zwei geltende Ziffern der absoluten Messunsicherheit.)