

Übungsaufgaben

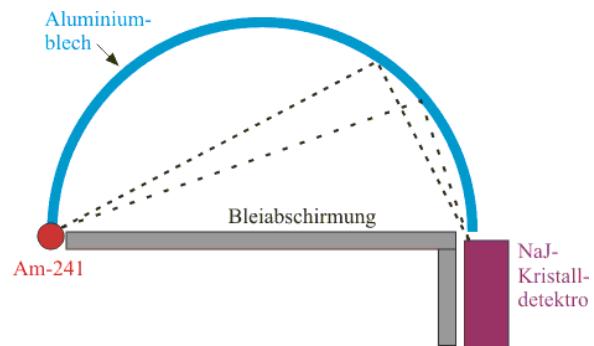
1. Eine Photozelle mit einer Caesium-Kathode ($W_A = 1,94\text{eV}$) soll zur Bestimmung der Wellenlänge λ von monochromatischem Licht verwendet werden. Beschreiben Sie den Aufbau und den Ablauf eines Versuchs, bei dem eine Spannung U gemessen wird, die Rückschlüsse auf die Wellenlänge des auftreffenden Lichts zulässt, Zeigen Sie, dass für die

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{W_A + e \cdot U}$$

Wellenlänge folgender Zusammenhang gilt:

Bestimmen Sie die Wellenlänge des Lichts, wenn $U = 1,0\text{V}$ ist. Welche Farbe hat dieses Licht? Ermitteln Sie die Grenzwellenlänge des Lichts, welches von der Cäsium-Photozelle noch Elektronen auslöst. Ermitteln Sie die maximale kinetische Energie der Elektronen, wenn sie mit Licht der Wellenlänge 450 nm ausgelöst werden.

2. Für einen Versuch zum Compton-Effekt wird als Strahlungsquelle das Americium-Isotop ^{241}Am verwendet, das γ -Quanten der Energie $E_\gamma = 59,5\text{keV}$ emittiert. Die Americium- Quelle und ein NaJ-Kristalldetektor, mit dem auftreffende Strahlung energieaufgelöst nachgewiesen werden kann, sind an den Enden eines halbkreisförmigen Aluminiumblechs angebracht, das als Streumaterial dient. Eine Bleiabschirmung verhindert die direkte Bestrahlung des Detektors.
- a) Sowohl beim Photo- als auch beim Compton-Effekt wechselwirken Photonen mit Elektronen. Erläutern Sie die beiden Effekte und zeigen Sie Unterschiede auf. Gehen Sie auch auf die energetischen Unterschiede von Photo- bzw. Compton-Elektronen ein.

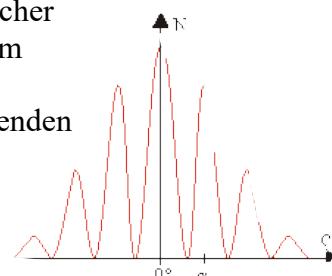


Es werden im Folgenden nur einfach gestreute Quanten betrachtet.

- b) Im Detektor werden durch Compton-Effekt gestreute Photonen der Energie E'_γ nachgewiesen. Begründen Sie, dass alle am Aluminiumblech Compton-gestreuten und im Detektor registrierten Photonen die gleiche Energie E'_γ besitzen. Berechnen Sie die Energie E'_γ . [zur Kontrolle: $E'_\gamma = 53,3\text{keV}$]
- c) Fertigen Sie ein Impulsdiagramm für den Fall, dass das gestreute Photon im Detektor nachgewiesen wird und ermitteln Sie, unter welchem Winkel zur Einfallsrichtung des Photons das Compton-Elektron emittiert wird. Mit welcher Geschwindigkeit bewegt sich dann ein Compton-Elektron?

3. Ein Strahl nichtrelativistischer Elektronen (Masse m_e) mit einheitlicher kinetischer Energie E_k trifft senkrecht auf einen Doppelspalt von $1,0\mu\text{m}$ Spaltmittenabstand.

Hinter dem Doppelspalt wird die Anzahl N der pro Sekunde ankommenen Elektronen in Abhängigkeit des Ablenkwinkels α gemessen (s. Abb.)



- a) Erklären Sie das Zustandekommen des Kurvenverlaufs $N(\alpha)$.

b) Leiten Sie für die de-Broglie-Wellenlänge λ der Elektronen die Beziehung

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m_e \cdot E_k}} \text{ her.}$$

c) Die Elektronen erhalten ihre kinetische Energie beim Durchlaufen einer Beschleunigungsspannung von 100V. Berechnen Sie den Winkel α_1 (siehe Abbildung). Die Elektronen erhalten ihre kinetische Energie beim Durchlaufen einer Beschleunigungsspannung von 100V. Berechnen Sie den Winkel α_1 (siehe Abbildung).

4.

a) Skizzieren Sie qualitativ das typische Emissionsspektrum einer RÖNTGEN-Röhre. Tragen Sie dazu die Intensität der Strahlung in Abhängigkeit von der Wellenlänge auf. (Die Betriebsspannung U_B der Röhre sei so groß, dass auch die charakteristische Strahlung des Anodenmaterials auftritt.)

b) Aus der Grenzwellenlänge λ_G des kontinuierlichen Spektrums und der Beschleunigungsspannung U_B lässt sich die PLANCK'sche Konstante h bestimmen. Erklären Sie zunächst, welcher Prozess zur Entstehung von RÖNTGEN-Quanten mit der Wellenlänge λ_G führt.

Berechnen Sie, welcher Wert sich für h aus den Messwerten $U_B=40\text{kV}$ und $\lambda_G=31\text{pm}$ ergibt.

c) Untersuchen Sie, welchen Einfluss eine Erhöhung der Beschleunigungsspannung U_B auf die Werte von λ_G hat. Begründen Sie ihre Antwort.

d) In Teilaufgabe b) wurde unter Verwendung von RÖNTGEN-Strahlung eine Möglichkeit zur Bestimmung der PLANCK'schen Konstante h betrachtet.

Erläutern Sie eine weitere experimentelle Methode zur Bestimmung von h unter Verwendung eines anderen Bereichs des elektromagnetischen Spektrums (Messverfahren, Auswertung, Berechnung von h).

5.

Elektronen, welche eine Spannung von 50 kV durchlaufen haben, treffen auf einen Doppelspalt. Der Spaltabstand beträgt $2 \cdot 10^{-6}\text{m}$, die Spaltbreite $0,4 \cdot 10^{-6}\text{m}$. Die Entfernung zum Schirm beträgt 35 cm.

Berechnen Sie die Masse, die Geschwindigkeit und den Impuls der Elektronen.

(relativistische Energie-Impuls-Beziehung: $E^2 - (cp)^2 = E_0^2$)

Zunächst sei nur Spalt A geöffnet. Schätzen Sie die Breite des Elektronenstrahls ab, die sich aufgrund der Unschärferelation ergibt.

Skizzieren Sie die Intensitätsverteilungen, die sich auf dem Schirm ergeben müssten, wenn nur Spalt A geöffnet ist, nur Spalt B geöffnet ist, beide Spalte geöffnet sind.

6.

Man bestrahlt die Photokathode einer Vakuumphotozelle nacheinander mit drei ausgewählten Linien des Heliumspektrums ($\lambda_{\text{rot}} = 667,8\text{ nm}$, $\lambda_{\text{grün}} = 492,2\text{ nm}$ und $\lambda_{\text{violett}} = 402,6\text{ nm}$).

a) Erläutern Sie anhand einer Skizze, wie man mit einem geeigneten Versuch die maximale kinetische Energie von Photoelektronen bestimmen kann.

In der folgenden Tabelle ist der Zusammenhang zwischen Wellenlänge bzw. Frequenz des eingestrahlten Lichts und der gemessenen maximalen kinetischen Energie der Photoelektronen angegeben:

λ in nm	667,8	492,2	402,6
f in 10^{14} Hz	4,49	6,09	7,45
$E_{\text{kin,max}}$ in eV	0,81	1,48	2,03

- b) Tragen Sie in einem geeigneten Koordinatensystem die maximale kinetische Energie der Photoelektronen über der Frequenz f auf. Bestimmen Sie die Steigung und die Achsenabschnitte der Geraden auf den Achsen und interpretieren Sie diese Werte physikalisch.
- c) Zeigen Sie, dass sich die untersuchte Photozelle zum Nachweis eines Teils des infraroten Spektralbereichs eignet.

7.

Aluminium hat eine Austrittsarbeit für Elektronen von 4,2 eV.

- d) Wie groß ist die Grenzwellenlänge von Aluminium?
- e) Wie groß ist die maximale kinetische Energie der ausgelösten Elektronen, wenn Aluminium mit Licht der Wellenlänge 250 nm bestrahlt wird?

8.

- a) Ein Proton durchläuft eine Beschleunigungsspannung von 1000 V. Welche de Broglie Wellenlänge kann diesem Proton zugeordnet werden? Wie muss die Beschleunigungsspannung geändert werden, um eine größere Wellenlänge zu erhalten?
- b) Berechnen Sie die Wellenlänge des Lichts, das an einem NaCl-Kristall (Netzebenenabstand $d = 2,8 \cdot 10^{-10}$ m) gebeugt wird, wenn der Winkel zum 2. Maximum $\alpha = 30^\circ$ beträgt.

9.

- a) Kann aufgrund der Unschärferelation ein Proton im Kern (Durchmesser: $1 \cdot 10^{-14}$ m) existieren?
- b) Und zum Schluss:
Folgende Entschuldigung eines Schülers wurde kürzlich vorgelegt:

*Sehr geehrte FachlehrerInnen,
ich verließ heute morgen auf meinem Fahrrad das häusliche Grundstück
durch die Gartenpforte, nachdem ich beim Start exakt in Richtung Schule
gezielt hatte. Unvermeidlicherweise wurde meine Wahrscheinlichkeitswelle*

an der Gartenpforte gebeugt; über den Weg meines Wellenpakets kann ich naturgemäß keine Angaben machen. Am Ende des Schulwegs traf ich leider nicht im zentralen Beugungsmaximum auf, sondern im Maximum erster Ordnung. Wie sie wissen, kann man als Quantenobjekt nichts dagegen tun. So verfehlte ich das Schultor um 50 m und musste die ersten beiden Stunden in der Kaffeestube neben der Schule zubringen.
Ich bitte, mein Fehlen zu entschuldigen, weil es quantenphysikalisch unvermeidlich war.

Müssen die Lehrer diese Entschuldigung (begründet durch eine Rechnung) akzeptieren, wenn folgende Werte angenommen werden:

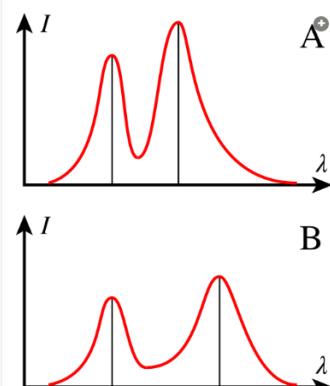
Masse $m = 90 \text{ kg}$, Geschwindigkeit $v = 5 \text{ m/s}$, Spaltbreite (Gartenpforte): $d = 1 \text{ m}$, Schulweg $s = 2 \text{ km}$?

10.

Compton-Effekt:

Mit Begründung:

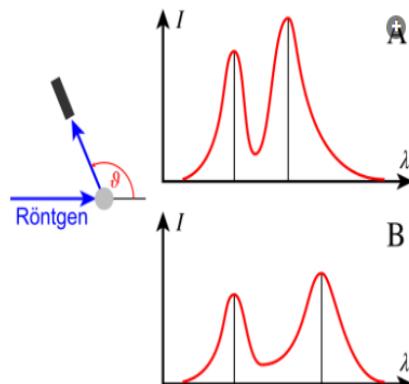
a)



Was ist bei der Messung zum COMPTON-Effekt bei gleicher Einstellung des Aufzeichnungsgeräts mit RÖNTGEN-Strahlung bei B anders als bei A?

- Es wurde bei B RÖNTGEN-Strahlung anderer Wellenlänge als bei A verwendet.
- Es wurde ein Streukörper aus anderem Material verwendet.
- Es wurde bei B ein anderer Streuwinkel als bei A untersucht.

b)



Die beiden RÖNTGEN-Spektren wurden mit unterschiedlichen Streuwinkeln ϑ aufgenommen. Ordne diese zu.

- A gehört zum kleineren ϑ Streuwinkel, B zum größeren.
- Man kann keine Aussage über die Zugehörigkeit machen.
- A gehört zum größeren ϑ Streuwinkel, B zum kleineren.

11.

Beschreiben Sie den einen Versuch zur Elektronenbeugung.