

1. Aufgabe: Die quantenhafte Absorption - Der Franck-Hertz- Versuch (50 Punkte)

Im Jahre 1913 untersuchten J. Franck und G. Hertz die Absorption von Energie durch einzelne Quecksilberatome. Hierzu werden Elektronen verwendet, welche in einem elektrischen Feld auf kinetische Energien bis etwa 25eV beschleunigt werden.

1. Beschreibe den Aufbau nach Abb. 1 und erläutere die Versuchsdurchführung. (8P)
2. Interpretiere den in der Abb. 2 gezeigten gemessenen Verlauf der Stromstärke als Funktion der Beschleunigungsspannung und bestimme die Anregungsenergie. (12P)
3. Erläutere die Bedeutung des Versuchsergebnisses für das zu dieser Zeit entstehende Atommodell und die Grundlagen der Quantenphysik. (6P)
4. Würde man mit einer UV-Kamera während des Versuches die Röhre von der Seite her filmen, während die Beschleunigungsspannung kontinuierlich erhöht wird, so würde in bestimmten Bereichen der Röhre Leuchterscheinungen wahrgenommen. Beschreibe und erläutere diese zu erwartenden Beobachtungen (Skizze!) in der Quecksilberdampf-gefüllten Franck-Hertz-Röhre. Gehe dabei besonders auf die Wellenlänge der entstehenden Strahlung und den spannungsabhängigen Ort ihrer Entstehung ein. (14P)
5. Bestimme die möglichen Geschwindigkeiten, welche ein Elektron in der FH-Röhre bei $U_B=10V$ erreichen kann. (10P)

Abb. 1: Schematisches Schaltbild zum originalen Franck-Hertz-Versuch von 1913 (Nobelpreis von 1925). Der benötigte Quecksilberdampf-Partialdruck wird durch Aufheizen der gesamten Röhre im Ofen auf etwa 180°C erreicht. Die Höhe der Gegenspannung wird auf ca. 1V eingestellt. Quelle der Abbildung: www.ulfconrad.de

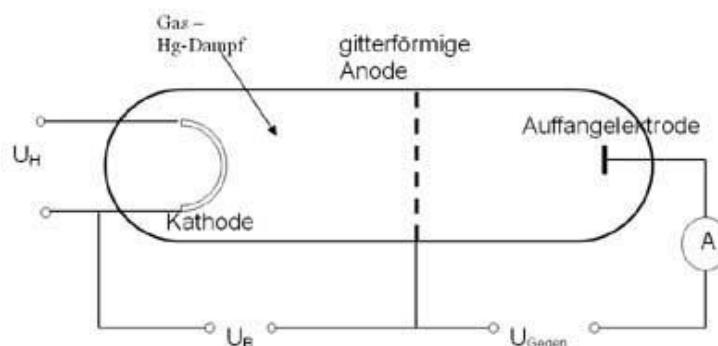
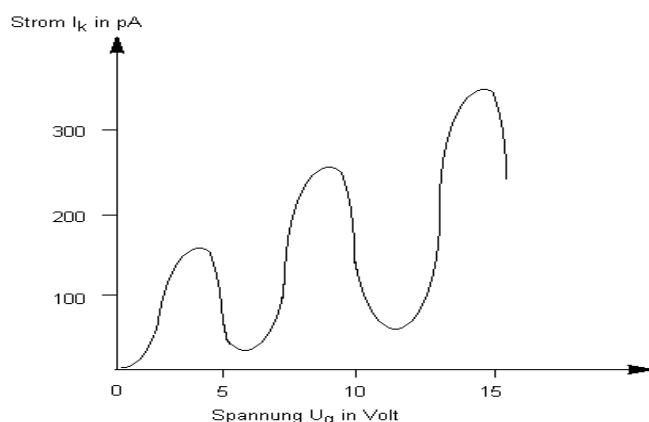


Abb. 2: Gemessene UB-I-Kennlinie einer FH-Röhre, 170°C und etwa 1V Gegenspannung. Quelle der Daten: www.qsl.net/dl7utg/FranckHertz2.gif



2. Aufgabe: Der Welle-Teilchen-Dualismus (60 Punkte)

Im Jahre 1923 veröffentlichte der Franzose Louis de Broglie seine Wellentheorie von Teilchen. Damit hob er endgültig die Trennung zwischen Licht (als Welle) und Materie (mit Teilcheneigenschaften) auf. Besonders bei Experimenten mit Elektronen zeigten diese unter bestimmten Bedingungen deutlichen Wellencharakter. Umgekehrt wies auch Licht im Experiment typische Eigenschaften von Materiebehafteten Teilchen wie Impuls, Energie usw. auf. In den folgenden Aufgaben wird auf die Bestimmung von h und den Compton-Effekt eingegangen.

1. Eine Photozelle wird mit Licht unterschiedlicher Wellenlänge und verschiedenen Intensitäten durch eine Ringlektrode hindurch beleuchtet. Über dem Kondensator wird dabei (nicht eingezeichnet) die Spannung U_C gegen die Zeit t gemessen.
 - a. Beschreibe und erläutere den Verlauf der Kondensatorspannung gegen die Zeit in den Abbildungen 4 und 5. (10P)
 - b. Erläutere, welches Verhalten nach dem „Wellenbild“ des Lichtes zu erwarten wäre (Tipp: Feldenergie im Kondensator!). (5P)
 - c. Bestimme graphisch in geeigneter Darstellung mit den Werten aus Abb. 4 das Plancksche Wirkungsquantum h und die Austrittsarbeit W_A der Elektronen in der Photozellen-Beschichtung. (10P)

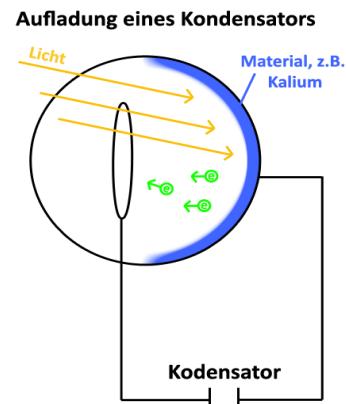


Abb.3: Photozelle (aus www.physik4all.de)

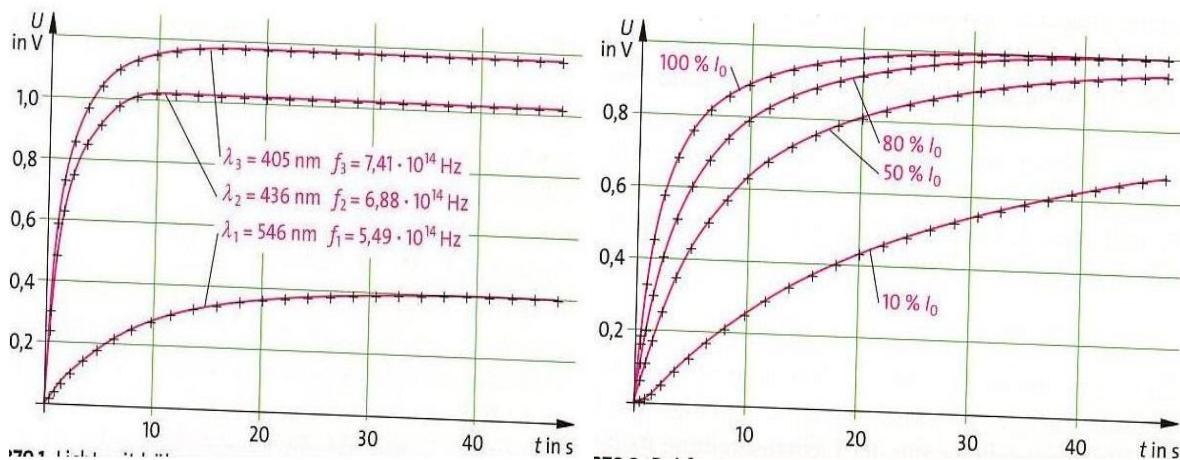


Abb. 4 und 5: Kondensatorspannungen für verschiedene Wellenlängen und verschiedene Intensitäten als Funktion der Beleuchtungsdauer (Quelle der Abbildungen: Metzler „Physik“ in der 4. Auflage)

2. Beim Compton-Effekt spielt sichtbares Licht keine Rolle. Die relevante Strahlung entstammt als γ -Strahlung dem Atomkern oder ist harte Röntgenstrahlung mit Energien von vielen hundert keV. Erläutere den Compton-Effekt und gehe dabei auf die relevanten Erhaltungssätze und die „Teilcheneigenschaften“ von Licht ein. (9P)
3. Berechne die Impulse eines Photons und eines Elektrons der Energie 10keV (nicht-relativistisch!). (6P)
4. Berechne die Compton-Kante (Tipp beachten!) für γ -Teilchen aus einer Cs-137-Quelle und identifiziere diese im Spektrum. (8P)
5. Berechne die Impulse vor und nach dem Compton-Stoß für die γ -Quanten und für das Elektron (Auch hier Rückstreuung! Relativistisch rechnen!). Vergleiche diese. (12P)

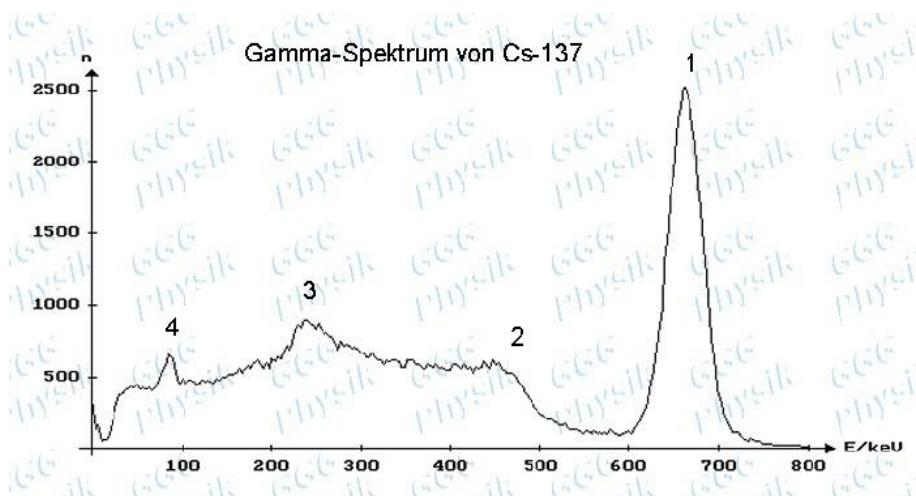


Abb. 6: Gamma-Spektrum von Cs-137. Gamma-peak bei 667keV. Entnommen aus www.grossberger.net/atomphysik/Gamma/gamma1.html

Tipps:

Compton-Formel:

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0 c} \cdot (1 - \cos \varphi)$$

Die Compton-Kante befindet sich eigentlich bei $\varphi=90^\circ$! Hier ist Rückstreu-Peak zu sehen!

Compton-

Wellenlänge: http://www.physik4all.de/bilder/jgs13/quanteneffekte/photoeffekt_kondensator.gif

$\Delta\lambda_{90^\circ} = \lambda_C = 2,43\text{pm}$ (Wellenlängenänderung an Compton-Kante bei Streuwinkel $\varphi=90^\circ$)