

Photoeffekt

Bestimmung des PLANCKschen Wirkungsquantums

Aufgabe:

In einer Kompaktanordnung wird durch die spektrale Abhängigkeit des lichtelektrischen Effekts das Wirkungsquantum h und die Austrittsarbeit W_A der verwendeten Fotozelle bestimmt.

Grundlagen:

Wird eine negativ aufgeladene Metallplatte, die mit einem Elektrometer verbunden ist, mit energiereichem Licht bestrahlt, so beobachtet man einen Verlust ihrer Ladung: eine positiv aufgeladene Metallplatte verliert ihre Ladung nicht (HALLWACHS. 1888). Hinreichend kurzwelliges Licht, dessen Energiequanten die Austrittsarbeit W_A aufbringen, kann also aus einer Metallschicht, z.B. einer Kalium-Katode in einer Vakuum-Fotozelle, negative Ladungsträger (Elektronen) herauslösen. Diese erzeugen einen Fotostrom I in Richtung Anode. Hierbei treten die negativen Ladungen mit einer gewissen kinetischen Energie E_{kin} aus dem Metall aus (s. Abb. 1).

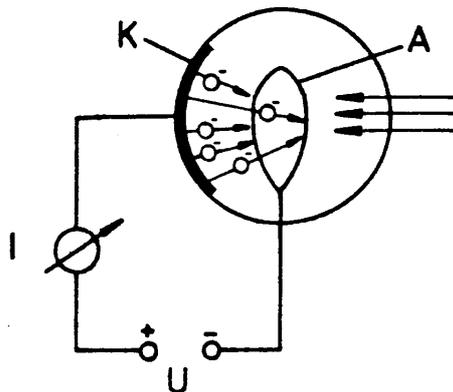


Abb. 1: Anordnung beim Photoeffekt (schematisch)

Mit der Gegenfeldmethode kann man diese kinetische Energie messen durch die Gegenspannung $-U$ an einer ringförmigen Platin-Anode, gegen die die Ladungen gerade noch anlaufen können ($I = 0$). Unter der Annahme, dass die Ladungsträger (Elektronen) eine Elementarladung $-e$ tragen, kann man setzen:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m_e \cdot v^2 = e \cdot U_0 \quad (1)$$

Es zeigt sich, dass die Elektronen um so energiereicher werden, je höher die Frequenz des auslösenden Lichts ist:

$$E = h \cdot \nu - W_A \quad (2)$$

(EINSTEIN-Gleichung, 1905)

$$\text{bzw.: } e \cdot U = h \cdot \nu - W_A \quad (3)$$

Dabei ist h das PLANCKsche Wirkungsquantum. W_A ist die für das Metall (hier Kalium) charakteristische Ablösearbeit (Austrittsarbeit). Die kleinste Frequenz, die gerade noch ausreicht, um Elektronen aus dem Metall freizusetzen ohne ihnen also kinetische Energie mitzuteilen, nennt man Grenzfrequenz:

$$h \cdot \nu_G - W_A = 0 \quad (4)$$

Daraus folgt:

$$h(\nu - \nu_G) = e \cdot U = \frac{1}{2} m_e \cdot v^2 \quad (5)$$

Die Intensität des auslösenden Lichts hat dagegen keinerlei Einfluß auf die Energie der Elektronen, sie bestimmt nur ihre Anzahl pro Flächen- und Zeiteinheit (LENARD, 1902).

Nach der elektromagnetischen Lichttheorie sollte man annehmen, dass die Lichtintensität die Energie der Elektronen regle: je mehr Energie pro Flächen- und Zeiteinheit einfällt, desto mehr kann ein Elektron auf sich versammeln. Dagegen ist das Ergebnis, ohne weiteres klar auf Grund der PLANCKschen Hypothese (1900), dass Licht von der Frequenz ν in Quanten (Photonen) von der Energie $h\nu$ emittiert und absorbiert wird. Je ein Photon gibt seine gesamte Quantenenergie an ein Elektron ab. Diese Energie wird z.T. verwendet, um das Elektron zu befreien; der Rest ist kinetische Energie E_{kin} .

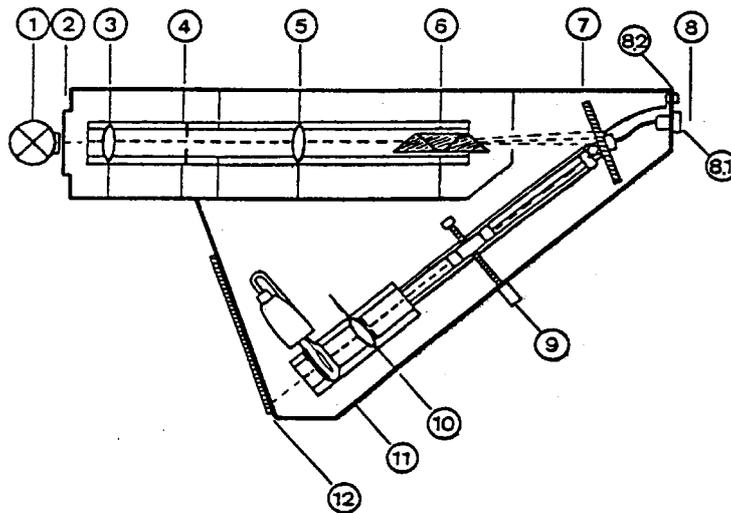


Abb. 3: Kompaktanordnung zur h -Bestimmung

- | | |
|---------------------------------|---|
| (1) Quecksilberhochdrucklampe | (8.1) Anschluß für Meßverstärker (BNC) |
| (2) Schieber | (8.2) Anschluß für Anode (4-mm-Buchsen) |
| (3) Sammellinse | (9) Gewindeführung des schwenkbaren Armes der Fotozelle |
| (4) Spalt | (10) Sammellinse mit Spaltblende |
| (5) Abbildungslinse | (11) Fotozelle |
| (6) Geradsichtprisma | |
| (7) Spiegel | |
| (8) Anschlüsse der Meßleitungen | |

Hinweise:

Die elektrische Schaltung ist vor Inbetriebnahme vom Assistenten abzunehmen!

Die Hg-Hochdrucklampe wird mit der Drossel gezündet. Es muß bis zur vollständigen Leistung etwa 10 Minuten gewartet werden. Die Drossel soll während des Versuchs nicht mehr abgeschaltet werden, da bei erneutem Einschalten eine betriebswarme Lampe nicht zündet und deren Lebensdauer sich durch An- und Ausschalten stark verkürzt. Also: nur abgekühlte Hg-Lampe zünden!

Vor der Durchführung des Versuches ist im teilweise verdunkelten Raum vorsichtig die Abdeckhaube der Kompaktanordnung zu entfernen und die Anordnung der optischen Teile zu studieren. Auf die Fozelle darf dabei kein Licht fallen! Die optische Anordnung darf nicht verändert werden. Machen Sie sich mit der Handhabung des Schwenkarmes vertraut.

Während der Messung muß die Abdeckhaube geschlossen bleiben und der Abblendschieber am Austrittsfenster nur zum Wechsel und Einstellen der Spektrallinien geöffnet werden.

Nach Ende des Versuches sind alle Schieber und Deckel wieder zu schließen, die Geräte auszuschalten und die elektrischen Verbindungen zu lösen.

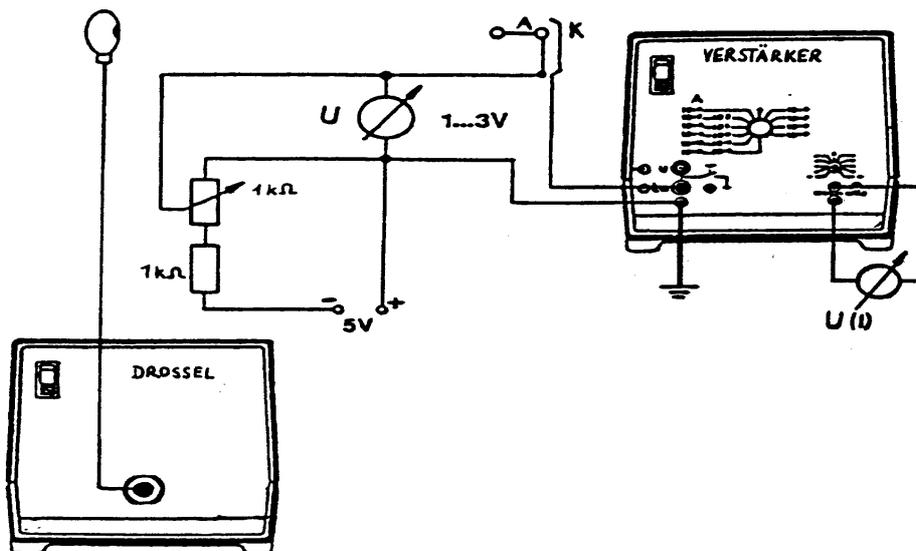


Abb. 2: Elektrische Verbindungen

Durchführung:

Zu Versuchsbeginn werden die elektrischen Verbindungen nach Abb. 2 aufgebaut und die Quecksilber-Hochdrucklampe an der Drossel gezündet. Schieber (2) etwa 10 Minuten geschlossen lassen, bis die Lampe volle Leistung bringt. In der Kompaktanordnung (s. Abb.3) wird die Brennzzone der Hg-Lampe (1) durch die Linse (3) auf dem Spalt (4) abgebildet. Der Spalt mit der Linse (5) über den Spiegel (7) auf das Austrittsfenster (12) abgebildet. Das in den Strahlengang vor den Spiegel gesetzte Geradsichtprisma zerlegt das Licht so, dass am Austrittsfenster die gelbe Hg-Linie innen, die violette außen liegt. Mit Hilfe der Linse (10) und aufgesetzter Spaltblende auf dem schwenkbaren Arm (9), lassen sich die einzelnen Linien

des Hg-Spektrums der Reihe nach so auf der Kathode der Fotozelle (11) abbilden, dass die ringförmige Anode nicht belichtet wird. Der Schatten des Markierungsstiftes an Linse (10) ist dann am Austrittsfenster auf der jeweiligen Linie zu sehen. Zur Messung muß das Austrittsfenster mit dem Abblendschieber verschlossen worden.

Tab.1: Frequenzen der Quecksilberlinien

Hg-Linie	λ [nm]	ν [10^{14} s^{-1}]
gelb	578	5,19
grün	546	5,49
grünblau	493	6,08
blau	436	6,88
violett	405	7,41

Jetzt werden der Fotostrom I und die Bremsspannung U für die einzelnen Linien des Quecksilberspektrums (s. Tab. 1) gemessen: - Schwenkarm so einstellen, dass der Schatten des Markierungsstiftes auf der gelben Linie liegt. Abblendschieber schließen, U (Gegenspannung an der Fotozelle) mit Schiebewiderstand auf 0 stellen. Fotostrom I_0 messen: Meßbereich am Verstärker so wählen (z.B. 10^{-8} A), dass das angeschlossene Voltmeter max. 1V anzeigt (dann ist der Strom 10^{-8} A). Meßbereich beibehalten und Spannung an der Fotozelle mit Schiebewiderstand so lange erhöhen. bis $I = 0$ wird, dann U_0 ablesen.

- Die beschriebenen Punkte für die grüne, blaugrüne, blaue und violette Linie wiederholen.

Auswertung:

Der Auswertung liegt die Gleichung (5) mit dem linearen Zusammenhang zwischen der Bremsspannung U_0 des Gegenfeldes und der Frequenz ν der Lichtquanten zugrunde:

$$h(\nu - \nu_G) = e \cdot U = \frac{1}{2} m_e \cdot v^2 \quad (5)$$

- Tragen Sie den gemessenen Fotostrom I_0 gegen die Wellenlänge λ der einzelnen Hg-Emissionslinien auf (ergibt Diagramm 1).
- Tragen Sie die ermittelten Bremsspannungen U_0 gegen die Frequenz ν der einzelnen Hg-Emissionslinien auf (ergibt Diagramm 2).
- Bestimmen Sie Steigung und Achsenabschnitte im Diagramm 2 durch lineare Regression und daraus das PLANCKSche Wirkungsquantum h , die Grenzfrequenz ν_G und die Austrittsarbeit W_A der verwendeten Fotozelle.
- Der Wert für die Elementarladung e des Elektrons beträgt $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.
- Fehlerrechnung