

Mit diesem Versuch wird unter Verwendung einer Alkali-Vakuumphotозelle das Phänomen Photoeffekt näher untersucht und das Verhältnis der Naturkonstanten h und e (Plancksches Wirkungsquantum und Elementarladung) bestimmt. Wegen der sehr kleinen Photoströme (Messungen im nA-Bereich), und weil sich die Photozelle weder wie eine ideale Spannungsquelle noch wie eine ideale Stromquelle verhält, funktionieren die Messungen nicht mit einem gewöhnlichen Multimeter. Stattdessen muss ein empfindlicher Messverstärker mit sehr hohem Eingangswiderstand für Spannungsmessungen (hier um $10^{14} \Omega$) benutzt werden. Für ein solches Gerät ist die Bezeichnung Elektrometer üblich, ein Name, der ursprünglich nur für das elektrostatische Elektrometer verwendet wurde, welches hier in der ersten Aufgabe ebenfalls zum Einsatz kommt.

- Hinweise:**
- 1) Spannungen über 50V können lebensgefährlich sein;
 - 2) Die Quecksilber-Lampe (Hg-Lampe) emittiert auch im UV-Bereich;
 - 3) Schalten Sie die Lampe und das Elektrometer frühzeitig ein, damit die Geräte stabil laufen. Die Lampe muß nach dem Ausschalten einige Zeit abkühlen, bevor sie wieder eingeschaltet werden kann. Also nicht ausschalten!
 - 4) Beim Messen stören Bewegungen, insbesondere das Reiben der Füße auf dem Boden. Aber auch die winzigen Umladeströme bei Veränderung der Kapazitäten durch Lageveränderung von Personen und Gegenständen bewirken Ausschläge am Elektrometer. Textilien können sich elektrostatisch aufladen.
 - 5) Interferenzfilter sollen von der Spiegelseite zur Farbglasseite hin durchstrahlt werden.

Aufgaben:

1 Demonstrieren Sie den Hallwachs-Effekt mit klassischen Mitteln: Auf den isolierten Anschluss eines elektrostatischen Elektrometers wird eine frisch geschmirgelte (warum?) Zinkplatte gesteckt. Das Elektrometergehäuse wird mit dem Masseanschluss eines Hochspannungsgerätes verbunden, die Zn-Platte kurzzeitig mit dem Minus-Anschluss (ca. 2kV für Vollausschlag). Der Ausschlag ändert sich nur extrem langsam. Dann beleuchten Sie die Zn-Platte mit der Quecksilberdampf Lampe. Der Ausschlag geht etwas rascher, aber immer noch sehr langsam zurück. Wiederholen Sie das Experiment, nachdem Sie in der Nähe der beleuchteten Zn-Platte eine positiv geladene Metallelektrode (an den Plus-Anschluss des Hochspannungsgerätes angeschlossen) aufgestellt haben. Jetzt entlädt sich das Elektrometer samt beleuchteter Zn-Platte rasch. - Erklären Sie die beobachteten Effekte.

2 Elektrometereigenschaften: Erläutern Sie zunächst die Begriffe: Ideale Spannungs-/Strom-Quelle sowie Volt-/Amperemeter. Wie passt die Vakuum-Photozelle in diese Begriffswelt?
Bestimmen Sie den Innenwiderstand des Elektrometers (Spannungsmessung, Verstärkungsfaktor=1) durch Anlegen einer definierten Spannung (z.B. 5V), zunächst direkt, dann über einen großen Vorwiderstand ($0.1 / 1 / 10 \text{ G}\Omega$).

3 Photoeffekt und h/e -Bestimmung

Überprüfen Sie den Aufbau des optischen Systems zwischen Hg-Dampf Lampe und Photozelle: Die 65 mm-Linse steht dicht vor der Lichtaustrittsöffnung der Hg-Lampe; das momentane Interferenzfilter befindet sich unmittelbar vor dem Lichtschutzkollimator der Photozelle, um Einstreuung von Umgebungslicht zu minimieren; die Irisblenden dienen der Schonung der Photokathode und befinden sich je nach Bauart entweder unmittelbar am Kollimator oder mitten im Strahlengang. Ein Graufilter kann mittels eines Klemmenhalters leicht in den Strahlengang eingebracht werden.

Warum wird eine Hg-Lampe verwendet? Würde der Versuch auch mit einer wohnzimmertauglichen Halogen-Lampe gelingen?

Hinweis: Den Einfluss des Umgebungslichts - insbesondere bei den großen Wellenlängen - müssen Sie unbedingt durch Variation der Verdunklung überprüfen.

Bevor Sie mit dem Elektrometer messen können, müssen Sie einen Nullabgleich durchführen. Dies geschieht durch festhalten des entsprechenden Knopfes und Regelung mit den beiden Potentiometern grob/fein.

Am besten gleichen Sie das Gerät beim Verstärkungsfaktor $V=10^2$ ab, dann ist es auch für die weniger empfindlichen Faktoren bereit.

3.1 Messen Sie bei maximaler Lichtintensität für die Wellenlängen $\lambda = 360, 400, 440, 490, 540$ und 590 nm die Klemmenspannungen der Photozelle. Die Filter befinden sich in dieser Reihenfolge in den Slots #1-#6 des Filterrads. Messen Sie mindestens dreimal für jede Wellenlänge indem Sie das Filterrad von Slot-#6 einfach weiter auf Slot-#1 drehen. So erhalten Sie ein Gefühl für die Reproduzierbarkeit der Messung. Prüfen Sie (qualitativ z.B. mit Irisblende), ob diese Spannungen intensitätsunabhängig sind. Was beobachten Sie bei abgeschotteter Beleuchtung?

Berechnen Sie die Parameter der Ausgleichsgeraden $U = a \cdot \lambda^{-1} + b$ und daraus das Verhältnis h/e . Welche Bedeutung hat der Parameter b in dieser Gleichung?

3.2 Messen Sie für dieselben Wellenlängen λ und wieder bei maximaler Lichtintensität die Gegenspannungen $U_{U_k=0}$, die Sie anlegen müssen, damit die Klemmenspannung auf Null sinkt. (Spannungskompensation). Schließen Sie hierzu die Spannungsquelle (Batterie) gegenpolig in den Stromkreis (wie in Schaltung 2, aber noch ohne Vorwiderstand). Bestimmen Sie wie in der vorigen Aufgabe das Verhältnis h/e .

3.3 Messen Sie für die Wellenlänge 400 nm den Photostrom in Abhängigkeit von der angelegten Spannung. Schließen Sie hierzu den $100 \text{ M}\Omega$ Arbeitswiderstand parallel zum Messeingang des Elektrometers (Schaltung 2; Hinweis: die 4mm-Massebuchse und der BNC-Aussenleiter liegen auf gleichem Potential). Der Strom berechnet sich dann aus der Messspannung zu $I = U_{\text{mess}}/RV$; wobei V der eingestellte Verstärkungsfaktor ist.

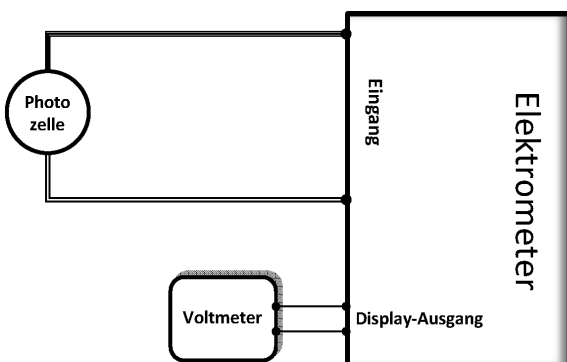
Zweckmäßige Spannungsintervalle: -3 V bis $-0,5 \text{ V}$: $\Delta U = 0,1 \text{ V}$; $-0,5 \text{ V}$ bis 3 V : $\Delta U = 0,5 \text{ V}$; 3 V bis 9 V : $\Delta U = 1 \text{ V}$. Messen Sie bei maximaler Lichtintensität. Untersuchen Sie auch hier den Einfluss von Streulicht auf den gemessenen Photostrom. Messen und berücksichtigen Sie nötigenfalls den 'Dunkelstrom'.

Zeichnen Sie den Bereich $-2,5 \text{ V}$ bis 0 V zusätzlich in ein zweites Diagramm mit gedehnten Maßstäben.

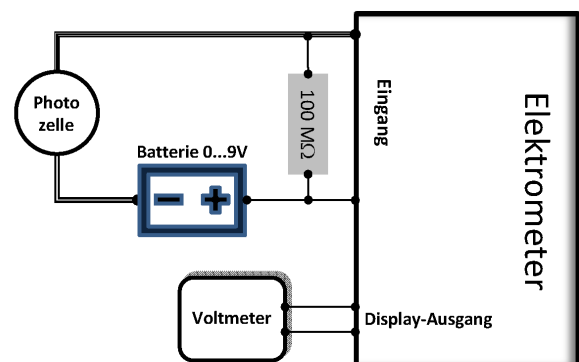
Diskutieren Sie qualitativ die Ursachen (z.B. Geometrie der Photozelle, Kathodenmaterial, Anodenmaterial, Lichtintensität, Energien und Anzahlen der austretenden Photoelektronen, Raumladung, Elektronenemission von der K-kontaminierten Anode durch Streulicht) für die beobachtete Strom-Spannungs-Abhängigkeit des Photostroms.

3.4 Wiederholen Sie die Messung der vorherigen Aufgabe, wobei Sie diesmal das Ihrer Versuchsanlage zugeordnete Graufilter verwenden. Bestimmen Sie anhand der Intensitätsmaxima den Abschwächfaktor des Graufilters. Zeichnen Sie die Messwerte in dieselben Diagramme von Aufg. 3.3 dazu. Vergleichen Sie die Stromnulldurchgänge beider Messungen.

3.5 Bestimmen Sie nun analog zu Aufgabe 3.2 für alle Wellenlängen die Gegenspannungen $U_{I=0}$, die Sie anlegen müssen, damit der resultierende Photostrom gerade den Wert Null hat. Bestimmen Sie wieder das Verhältnis h/e . Worin besteht der Unterschied dieser Messung zu 3.2?



Schaltung 1: Spannungsmessung



Schaltung 2: Strommessung bei geregelter Gegenspannung mit Batterie.

Zubehör:

Statisches Elektrometer;
Zn-Platte und Schmirgelpapier;
Metallstabelektrode mit Tonnenfuß;
Hochspannungsgerät (symmetrischer Ausgang, 0 bis 3,5 kV sowohl positiv als auch negativ gegen Masse, hoher Innenwiderstand, Berührung der Anschlüsse ungefährlich);
Hochdruck-Quecksilberdampfampe mit Vorschaltdrossel;
drei Sammellinsen zur optischen Abbildung - $f = 65 / 100 / 200$ mm, $d = 32$ mm;
Halter für sechs Interferenzfilter;
sechs Interferenzfilter vom Perot-Fabry-Typ $\lambda = (360 / 400 / 440 / 490 / 540 / 590)$ nm, Halbwertsbreite jeweils 10 nm, Durchlässigkeit im Maximum jeweils 45%;
Zero-Aperture-Irisblende (unterschiedlich bei den drei Versuchsaufbauten: entweder manuell, oder als Photoverschluss mit Drahtauslöser oder elektrisch zu betätigen);
Vakuumphotozelle mit vollflächig aufgedampfter Kaliumkathode und ringförmiger Platin-Rhodium-Drahtanode, Kathodenanschluß über Koaxialkabel mit BNC-Stecker, Anodenanschluss über Doppelleitung mit Bananensteckern;
Universal-Messverstärker (Phywe) in Elektrometerfunktion;
Standard-Multimeter zur Spannungsanzeige am Elektrometerausgang (0-10V);
BNC-T-Stück und 100 M Ω Arbeitswiderstand zur Strommessung;
potentialfreie Gleichspannungsquelle (Batterie) 0 bis 9 V, $R_i < 500 \Omega$, Einstellgenauigkeit 0,01 V;
Kästchen mit Widerständen, ca.100 M Ω , ca.1 G Ω , ca. 10G Ω ;
Zeiss-Schiene mit Reitern;
Verbindungskabel

Stichworte: Plancksches Wirkungsquantum, Innerer/Äußerer Lichtelektrischer Effekt, Photozelle, Quecksilberspektrum, Bandpassfilter, Elektrometer

Literatur:

Bergmann, Schäfer: *Experimentalphysik*, Band III
Walcher: *Praktikum der Physik*
Hecht, Zajac oder Hecht: *Optics* oder *Optik*

Version: Apr. 12