

Fotozelle

O 14

1 Aufgabenstellung

Das Plancksche Wirkungsquantum ist mit Hilfe des Fotoeffektes nach der Gegenspannungsmethode zu bestimmen.

2 Physikalische Grundlagen

Eine Vakuum-Fotozelle besteht aus einer großflächigen Alkalimetall-Kathode und einem gegenüberliegenden Anodenring in einem evakuierten Glaskolben. Fällt Licht auf die Kathoden so vermag dieses aus der Metalloberfläche Elektronen abzulösen ("äußerer lichtelektrischer Effekt", kurz: Fotoeffekt). Diese werden durch eine von außen angelegte Spannung von der Anode abgesaugt und im äußeren Kreis als Fotostrom nachgewiesen (siehe Versuchsanordnung Abb.2). Der Effekt wurde bereits 1888 von HALLWACHS entdeckt. LENARD fand 1902 experimentell, dass die Energie der austretenden Elektronen nicht von der Lichtintensität sondern nur von der Wellenlänge des Lichtes abhängt, was mit den Vorstellungen der klassischen Physik nicht vereinbar ist. EINSTEIN konnte 1905 (Nobelpreis 1921) diesen Effekt mit Hilfe der damals revolutionären Annahme der Quantelung des Lichtes zwanglos erklären:

Die Energie eines Lichtquants der Frequenz ν ist

$$E = h \cdot \nu \quad (1)$$

mit dem PLANCKSchem Wirkungsquantum $h = 6,623 \cdot 10^{-34} \text{Ws}^2$. Treffen Lichtquanten auf die Metalloberfläche auf, so geben sie ihre Energie an die Elektronen ab. Ein Teil der Energie wird benötigt, um die Elektronen aus dem Atomverband herauszulösen und aus der Metalloberfläche austreten zu lassen (Austrittsarbeit A). Die Restenergie dient der Beschleunigung der Elektronen. Es folgt die

EINSTEINSche Gleichung

$$h \cdot \nu = \frac{mv^2}{2} + A. \quad (2)$$

In der Fotozelle ist somit ein Strom nachweisbar, auch wenn keine Spannung angelegt wurde, da ein Teil der Elektronen auf die Anode trifft. Zur Bestimmung der kinetischen Energie wird eine Gegenspannung U angelegt. Die beim Abbremsen der Elektronen verrichtete Arbeit ist $e \cdot U$. Wird der Fotostrom gerade unterdrückt, dann gilt

$$\frac{mv^2}{2} = e \cdot U. \quad (3)$$

Damit ergibt sich aus Gl. (2) eine Möglichkeit zur Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantums, indem man die Fotozelle mit monochromatischem Licht bekannter Frequenz ν beleuchtet. Probleme bereitet in der Praxis die schlechte Reproduzierbarkeit der Austrittsarbeit A , die nicht nur von der Art des Metalls sondern auch von der Oberflächenbeschaffenheit (z.B. Oxydbelegung) abhängt. Die Bestimmung von A kann man umgehen, indem man die Gegenspannung U für Licht verschiedener Frequenzen ν bestimmt und h entsprechend

$$U = \frac{1}{e}(h\nu - A) \quad (4)$$

aus dem Anstieg der Funktion $U(\nu)$ berechnet.

3 Versuchsaufbau

3.0 Geräte

- Kalium-Fotozelle in Gehäuse auf optischer Bank
- Quecksilber-Hochdrucklampe mit Vorschaltgerät auf optischer Bank
- 3 Sammellinsen L1 ($f=40\text{mm}$), L2 ($f=140\text{mm}$), L3 ($f=100\text{mm}$)

- 2 Spalte (Diahalter mit Blenden)
- Reflexionsgitter, ca. 680 Linien pro mm
- Strom-Messverstärker
- 2 Digitalmultimeter
- Akkumulator (2 V)
- Potentiometer 1 k Ω
- Verbindungsleitungen

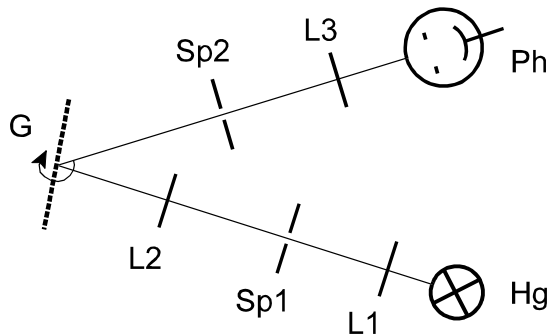


Abb. 1: Optischer Aufbau des Versuches

3.1 Die Fotozelle wird mit Hilfe eines Gittermonochromators mit dem Licht einzelner Spektrallinien der Hg-Lampe beleuchtet (Abb.1). Der Monochromator besteht aus Eintrittsspalt Sp1, drehbarem Gitter G, Austrittsspalt Sp2 und der Linse L2. Diese bildet den Eintrittsspalt scharf auf den Austrittsspalt ab. L1 dient als Kondensator und sorgt für maximale und gleichmäßige Ausleuchtung des Spaltes Sp1. L3 fokussiert das Licht auf die Fotozelle.

Über dem Austrittsspalt ist ein Streifen weißes Papier angebracht. Durch Fluoreszenz kann man auf dem Papier auch einen Teil der ultravioletten Spektrallinien der Hg-Lampe erkennen.

Das lichtdichte Gehäuse der Fotozelle mit Tubus und Blende gewährleistet, dass das Licht nur auf einen kleinen Bereich in der Mitte der metallisierten Fläche fallen kann.

Abb.2 zeigt die elektrische Schaltung zur Messung der Gegenspannung. Der Fotostrom (Größenordnung 10^{-9} A) wird mit Hilfe des empfindlichen Messverstärkers gemessen. Der Messverstärker liefert eine dem Strom proportionale Spannung (1 V entspricht dem Strom am Bereichsumschalter), die mit einem Multimeter angezeigt wird.

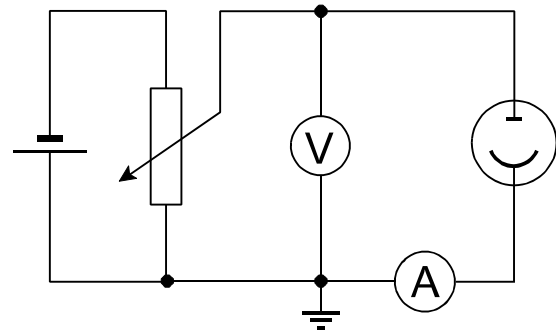


Abb. 2: Elektrische Schaltung zur Bestimmung der Gegenspannung

4 Versuchsdurchführung

Das Gitter darf nicht berührt werden! Es ist durch einem Deckel geschützt, der nur während der Messung abgenommen werden darf.

Die Hg-Hochdrucklampe darf nur über das Vorschaltgerät (Drossel 0,5 A) betrieben werden! Vermeiden Sie den direkten Blick in das Licht der Hg-Lampe.

Die Fotozelle darf keinem hellen Licht ausgesetzt werden. Gehäuse nur im abgedunkelten Raum öffnen! Fotozelle nur mit sauberen trockenen Fingern berühren!

Die Schaltung ist nach Abb.2 aufzubauen. Die automatische Messbereichsumschaltung der Multimeter sollte ausgeschaltet werden.

Zur Justierung des optischen Aufbaus kann das Gehäuse der Fotozelle vorübergehend geöffnet werden. Schalten Sie die Hg-Lampe am Vorschaltgerät ein. Justieren Sie den optischen Aufbau (Spaltbreiten, Stellung der Linsen, Winkel zwischen den beiden optischen Bänken), so dass ein monochromatischer Lichtfleck etwa in die Mitte der Fotokathode fällt. Für ein gutes Messsignal sollte die Lichtintensität so groß wie möglich sein. Prüfen Sie die Größe des Fotostromes ohne Gegenspannung im Licht der verschiedenen Spektrallinien. Optimal ist $I > 1$ nA. Unter 0,01 nA ist keine erfolgreiche Messung mehr möglich.

Die Kaliumschicht der Fotozelle ist nicht

homogen, die Austrittsarbeit kann vom Ort abhängen. Zur Vermeidung systematischer Fehler sollte bei jeder Wellenlänge die gleiche Stelle beleuchtet werden. Der Anschlussdraht der Kathode und der Anodenring dürfen nicht beleuchtet werden.

Durch Drehung des Gitters und Verschieben der Linse L2 können Sie das Spektrum der Hg-Lampe auch an die Wand und auf ein Blatt weißes Papier projizieren. Beobachten Sie den Unterschied!

Mindestens für die fünf starken bis sehr starken Spektrallinien (siehe Tabelle 1) ist der Fotostrom in Abhängigkeit von der Gegenspannung zu messen. Bei großen Gegenspannungen kann der Strom negative Werte annehmen. Die Kennlinien sollen von $U = 0$ bis etwa 0,5 V über dem Wert U_0 der Gegenspannung aufgenommen werden, bei dem $I = 0$ ist. Protokollieren Sie auch U_0 .

5 Auswertung

Die Kennlinien $I(U)$ sind grafisch darzustellen und zu diskutieren. Warum kann I bei großen Gegenspannungen negativ werden?

Die Spannung U_0 , bei der $I = 0$ wird, ist in Abhängigkeit von der Frequenz ν grafisch darzustellen. Aus dem Anstieg ist nach (4) das Plancksche Wirkungsquantum zu bestimmen.

Mit Hilfe von Überlegungen zur Geschwindigkeitsverteilung der Photoelektronen lässt sich zeigen, dass für den Fotostrom näherungsweise gilt

$$I \sim (U_0 - U)^2 \quad (5)$$

(siehe Artikel von Morton und Abraham). Hieraus ergibt sich eine genauere Möglichkeit der Bestimmung von h aus den Messdaten: Stellen Sie für alle Messreihen \sqrt{I} (für $I > 0$) in Abhängigkeit von U dar und bestimmen Sie den Schnittpunkt der Kurven mit der Abszisse durch lineare Regression. Die so gewonnenen Werte für U_0 sind wieder gegen

die Frequenz ν aufzutragen und aus dem Anstieg ist das Plancksche Wirkungsquantum zu bestimmen.

Tabelle 1: Hg-Spektrallinien

λ / nm	Farbe	Intensität
579,1	gelb-orange	stark
577,0	gelb-orange	stark
546,1	grün	sehr stark
491,6	blaugrün	schwach
435,8	blau	sehr stark
404,7	violett	stark
365,0	ultraviolett	sehr stark
334,1	ultraviolett	

6 Literatur

W. Walcher: Praktikum der Physik. B.G. Teubner Stuttgart 1989

A. Einstein: Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. Ann. d. Phys. **17**, 132 (1905)

N. Morton, J. Abraham: Planck's Constant and the Photoelectric Effect. Phys. Educ. **21** (1986) p.377

J. Strnad: Die Austrittsarbeit beim Photoeffekt. PdN-Ph 11/1980 p.343

7 Kontrollfragen

7.1 Erläutern Sie die historische Bedeutung dieses Versuchs.

7.2 Wie ist A in (4) zu interpretieren? (siehe Artikel von J.Strnad)

7.3 Wie ist ein Gittermonochromator aufgebaut?